

ad 1382/65/88

**KUSTAANMIEKAN JA SÄRKÄN SALMEN VÄYLIEN
TARKASTELU SIMULAATTORIAJOILLA**

MARTTI HEIKKILÄ

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
Laivatekniikan laboratorio

OTANIEMI
Tammikuu 1990

Tilaaajat: Helsingin kaupungin satamalaitos
Satamatalo, Olympiaranta 3
00140 HELSINKI, PL 193
TVH Vesitieosasto

Tilaukset: H. Nissinen 3.4.1989, Helsingin kaupunki
K. Mannola 14.3.1989, TVH

Tutkimuksen nimi: Kustaanmiekan ja Särkäsalmen väylien tarkastelu
simulaattoriajoilla

Yhteenveto: Tässä tutkimuksessa on selvitetty Kustaanmiekan olemassa olevan väylän riittävyttä nykyisiä suuremmille tulevaisuuden aluksille sekä tarkasteltu vaihtoehtoksi suunnitellun Särkän salmen kautta kulkevan väylän käyttökelpoisuutta. Lisäksi selvitettiin miten linjamerkintää lisäämällä voidaan parantaa väylää. Tutkimus on jatkoa keväällä 1989 tehdylle hydrauliselle mallikokeelle.

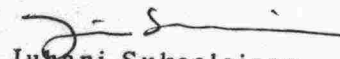
VTT:n laivatekniikan laboratorion aluksenkäsittelysimulaattorilla tehdyssä tutkimuksessa tarkasteltiin eri laivatyypin ohjailukäyttäytymistä tuulen vaikutuksen alaisena. Simulaattoriajojen aluksista kaksi oli maksimikokoista ja yksi vastasi nykyistä kokoluokkaa. Laivojen ohjaajina toimi Helsingin alueen luotseja ja Sompasaareen sekä Eteläsatamaan liikennöivien alusten päällystöä.

Tarkastelun kohteina olivat mm. väylän reunojen imuvaikutukset sekä tuulen, laivan nopeuden ja ajosuunnan vaikutukset. Kustaanmiekka osoittautui kapeana väylänä tutkituille aluksille hankalaksi kovassa tuulessa, vaikkakaan aluskoon tai tuulen nopeuden ylärajaa ei kokeiden perusteella voida osoittaa. Lisäämällä linjataulut voitiin simulaattoriajoissa parantaa ajosuoritusten tasoa Kustaanmiekassa.

Särkän salmen väylä ei tutkitussa muodossa ole todellinen vaihtoehto Kustaanmiekalle, koska Katajanokan ohittaminen on tuulessa vaikeata tarpeellisen hiljaisella nopeudella.

Espoo, 19 tammikuuta 1990

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
Laivatekniikan laboratorio


Juhani Sukselainen
laboratorion johtaja

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
1. Johdanto	4
2. Aluksen käsittelysimulaattori ja simulointimallit	5
2.1 Simulaattori	5
2.2 Väylämallit	6
2.2.1 Kustaanmiekkan nykyinen väylä	7
2.2.2 Kustaanmiekkan nykyinen väylä täydennettynä linjatauluilla	7
2.2.3 Särkäsalmen väylä	11
2.3 Laivamallit	11
3. Simulaattoriajojen suoritustapa	19
3.1 Kokeiden periaatteellinen tausta	19
3.2 Koeolosuhteet	20
3.3 Ohjaajat	21
3.4 Kokeiden suoritustapa	22
3.5 Koeohjelma	22
4. Ajojen analysointi	23
4.1 Analysoinnin periaatteet	23
4.2 Väylätilan käyttö	27
4.3 Ohjaus- ja liiketilasuureet	30
4.4 Pohjakosketukset	30
4.5 Ohjaajien mielipiteet	30
5. Tulokset	35
5.1 Yleistä	35
5.2 Väylätilan käyttö	37
5.3 Ohjaus- ja liiketilasuureet	38
5.4 Pohjakosketukset	39
5.5 Ohjaajien mielipiteet	41
5.6 Kaksi esimerkkiajoa Kustaanmiekassa	43
5.7 Särkän väylän tulokset	43
6. Tulosten arviointi	45
6.1 Kapean väylän hydrodynamiikasta	45

6.2	Kustaanmiekka väylänä	46
6.3	Särkäsalmi väylänä	49

7.	Yhteenveto mallikokeen ja simulaattoritutkimuksen tuloksista	51
----	--	----

8.	Lähdeluettelo	55
----	---------------	----

Liitteet

-	FINNSIM - alukseksittelysimulaattorin ominaisuudet	56
-	Taulukot	63
-	Kuvat	

1. Johdanto

Helsingin sisääntuloväylien parannusvaihtoehtojen suunnitteluun liittyviä kysymyksiä on selvitetty Helsingin kaupungin satamalaitoksen ja merenkulkuhallituksen tilaamissa mallikoetutkimuksessa ja simulaattoriajosarjassa. Simulaattoriajot, joita tämä tutkimuselostus käsittelee, suoritettiin VTT:n laivatekniikan laboratorion (VTT/LAI) aluksenkäsitelysimulaattorissa Otaniemessä kesä - syyskuussa 1989.

Helsingin Eteläsatamaan, Sörnäisten satamaan sekä Herttoniemeen ja Laajasalon öljysatamiin johtava nykyinen meriväylä kulkee Suomenlinnan ja Vallisaaren välissä olevan Kustaanmiekan salmen kautta. Tutkimuksilla selvitettiin Kustaanmiekan väylän riittävyyttä nykyisiä suuremmille tulevaisuuden aluksille sekä tarkasteltiin vaihtoehdoksi suunnitellun Särkän salmen kautta kulkevan väylän käyttökelpoisuutta. Lisäksi kokeiltiin, miten Kustaanmiekan salmen merkintää parantamalla voidaan parantaa laivan ohjattavuutta kapealla väylän osalla. Kumpikin näistä tarkastelun kohteena olleista väylistä on suurten alusten kannalta vaikea kovan tuulen vallitessa.

Väylä Kustaanmiekan läpi tekee loivan s-mutkan ja väylän pohjanmuoto on epäsymmetrinen. Kun lisäksi väyläalueen leveys on salmessa kapeimmillaan noin 110 metriä seurattaessa s-mutkan mukaista linjausta, muodostuu siitä navigoitavuudeltaan väylän vaikein osa. Väylän s-mutka on niin loiva, että on mahdollista käyttää myös suoraa linjausta, jolloin leveys on 80 metriä. Tätä ajotapaa ei kuitenkaan yleisesti käytetä. Kulkusyvyys väylällä on 9.6 metriä.

Nykyisen Särkän salmen kautta kulkee 7.9 metrin kulkusyvyinen väylä. Se on kapeimmillaan noin 60 metrin levyinen ja lisäksi mutkainen. Kustaanmiekan salmen kautta kulkevalle väylälle vaihtoehtoisena ratkaisuna tutkittiin Särkän salmen väylän alustavasti suunniteltua parannussuunnitelmaa, jossa väylän leveys oli 130m ja kulkusyvyys 9.0m.

Mallikoetutkimuksen avulla selvitettiin väylän hydraulisia olosuhteita ja simulaattoriajoilla saatiin mukaan inhimillisen ohjaajan vaikutus tuloksiin. Hydraulisella pienoismallilla siis tarkasteltiin mitkä ovat laivan ja väylän hydrodynaamiset vuorovaikutukset ja simulaattorilla saatiin mukaan ohjaajan, laivan instrumenttien ja väylän merkinnän vaikutukset.

Simulaattoriajot Kustaanmiekkan ja Särkäsalmien sisääntuloväylissä täydensivät hydraulisen pienoismallin kokeita. Simulaattoriajojen avulla selvitettiin mikä vaikutus alusten liikeratoihin on ajon suorittamisella reaaliajassa komentosillalta väylämaisemaa merimerkkeineen ja tutkaa hyväksi käyttäen. Ajamalla osittain samoilla laivatyypeillä samoissa olosuhteissa tarkennettiin ja varmennettiin pienoismallista saatavia tuloksia.

Tutkimuksessa tarkasteltiin eri laivatyyppien ohjailukäyttäytymistä k.o. väylissä tuulen vaikutuksen alaisena. Laivoja simulaattoriajoissa oli käytössä kolme: kaksi maksimikokoista alusta - kontti/RoRoalus ja matkustaja-autolautta - sekä nykyistä liikennettä vastaava lautta. Tuulen nopeus ja suunta vaihtelivat koeparametreinä.

Laivojen ohjaajina toimi Helsingin alueen luotseja ja Sompasaareen ja Eteläsatamaan liikennöivien alusten päällystää.

2. Aluksen käsittelysimulaattori ja simulointimallit

2.1 Simulaattori

VTT:n laivatekniikan laboratorion käyttöön Espoon Otaniemeen vuoden 1986 alussa saadussa aluksen käsittelysimulaattorissa on täydellisesti varustettu komentosilta ja ulkoisen väylämaiseman näyttölaitteisto. Laitteistossa jo valmiina olevilla laivamalleilla voidaan simuloida useiden erityyppisten ja kokoisten laivojen ohjailua erilaisissa väylissä ja sääolosuhteissa. Myös täysin uusien laivojen ja väyliä kehittäminen simulaattoriin on mahdollista. Simulaattorimalli on väylän hydraulisen ja merkinnän osalta joustavasti ja nopeasti muuteltavissa erilaisiksi tarkasteltaviksi vaihtoehtoisiksi. Otaniemen aluksen käsittelysimulaattori on alusta lähtien suunniteltu käytettäväksi sekä koulutukseen että tutkimukseen.

Komentosillan varusteina ovat aluksen normaalit hallintalaitteet kuten tutkat, loki, kaikuluoti, tuulimittari ja autopilotti sekä laivan koneisto- ja ohjailusysteemien näyttömittarit. Simulaattorin maiseman näyttöjärjestelmällä voidaan esittää päivä-, ilta- ja yömaisemia. Nimellinen näkökulma komentosillalta on 240 astetta vaaka- ja 30 astetta pystytasossa. Maisemalaitteisto on kokonaan tietokonepohjainen. Simulaattorin ominaisuudet kuvattu liitteessä 1 taulukon ja kuvien muodossa. Lisäksi on laitteiston käyttömahdollisuuksia kuvattu lähteessä (Heikkilä 1987).

2.2 Väylämallit

Simulaattoriväylässä on mallitettuna syvyystiedot, mukaanlukien reunojen imuvaikutukset, väylän sekä tutkassa että komentosillalta näkyvä maisema merimerkkeineen ja varustettuna navigoinnissa käytettävillä yksityiskohdilla.

Simulaattoriväylä koostuu kolmesta osasta (osamallista): näkyvä väylämaisema, tutkakuva ja syvyystieto. Siitä riippuen kuinka yksityiskohtaisesti kaksi ensiksi mainittua osamallia on toteutettu, on väylässä mahdollista navigoida päivä-, yö- ja tutkaolosuhteissa. Ulkoisen maiseman näyttöjärjestelmän kapasiteetti yksityiskohtien esittämiseen on rajoitettu, mutta käsillä olevan tehtävän luonteen mukaisesti on mahdollista joustavasti vaihdella samanaikaisesti näytettävien maan, merimerkkien ja muiden alusten määrää.

Simulaattoriväylän merkintä on tehty luonnossa olevan esikuvan mukaisesti kooostuen lateraali- ja kardinaalimerkeistä (poijuista ja viitoista), loistoista ja majakoista sekä linjamerkinnästä, joissa on oikeat valokoodit väreineen, sektoreineen ja vilkkumisperiodineen. Kaikki väylältä näkyvä merkintä on otettu mukaan mikäli se on katsottu oleelliseksi väylän navigoinnin kannalta.

Helsinki satamineen oli jo aiemmin pääpiirteissään mallitettu simulaattoriin siten, että väylät olivat ajettavissa Harmajalta Etelä-satamaan ja Sompasaareen asti. Simuloitu tutkakuva sisälsi informaatiota 3 mailin tutkaskaalan käyttämiseksi lähestymisajossa. Väyliä simulointimalleihin tarvitsi tehdä vain joitain väylän merkintään, syvyystietoihin (Särkkä) ja tarkkuuden parantamiseen liittyviä muutoksia. Koska tar-

kasteltavat sisääntuloväylät ovat kapeita ja hydrauliselta muodoltaan hyvin vaihtelevia, kalibroitiin väylän reuno- jen imuvaikutukset laivan simulaattorilaivan ohjailukäyttäytymiseen mallikokeista saatujen tulosten avulla.

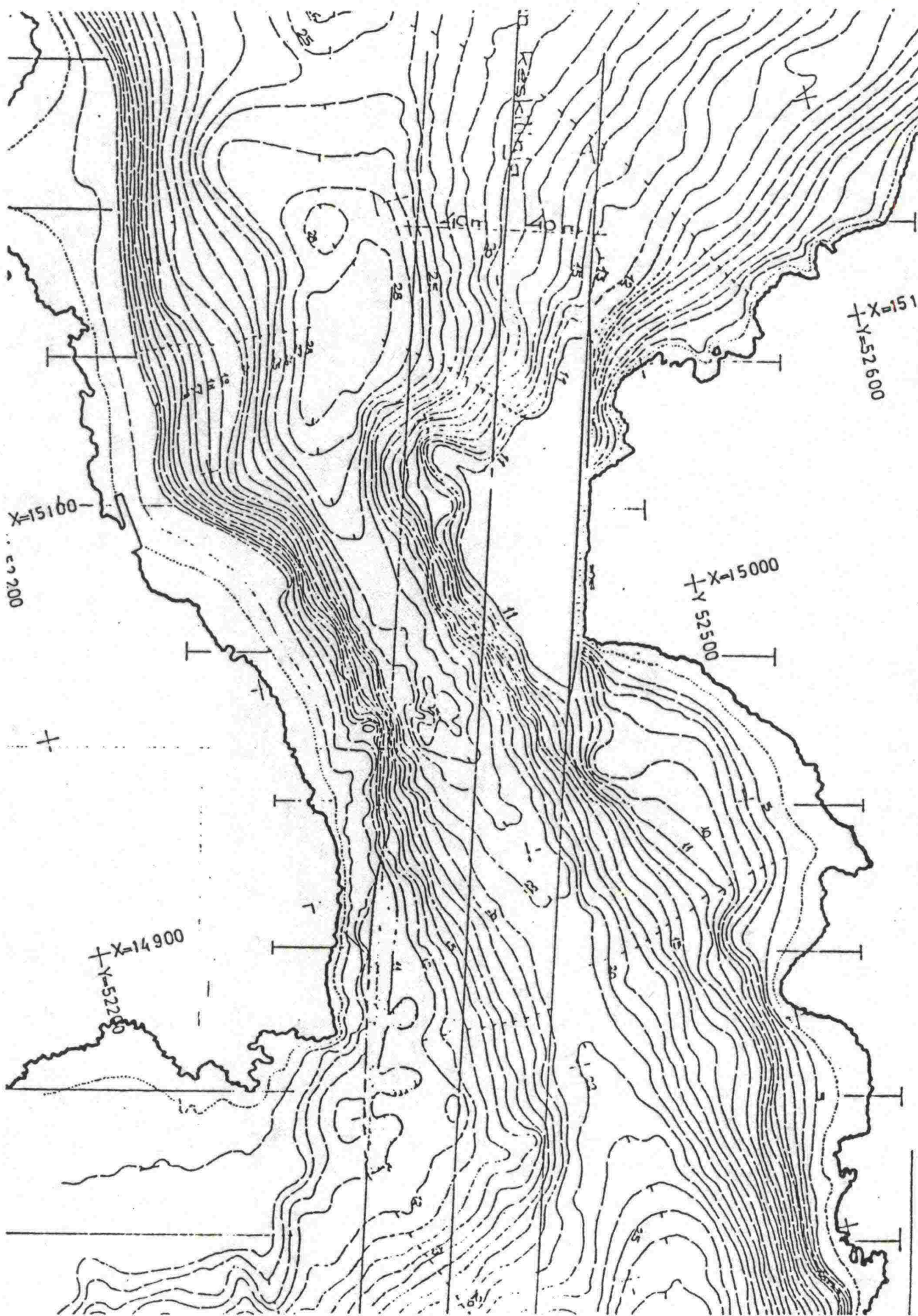
2.2.1 Kustaanmiekan nykyinen väylä

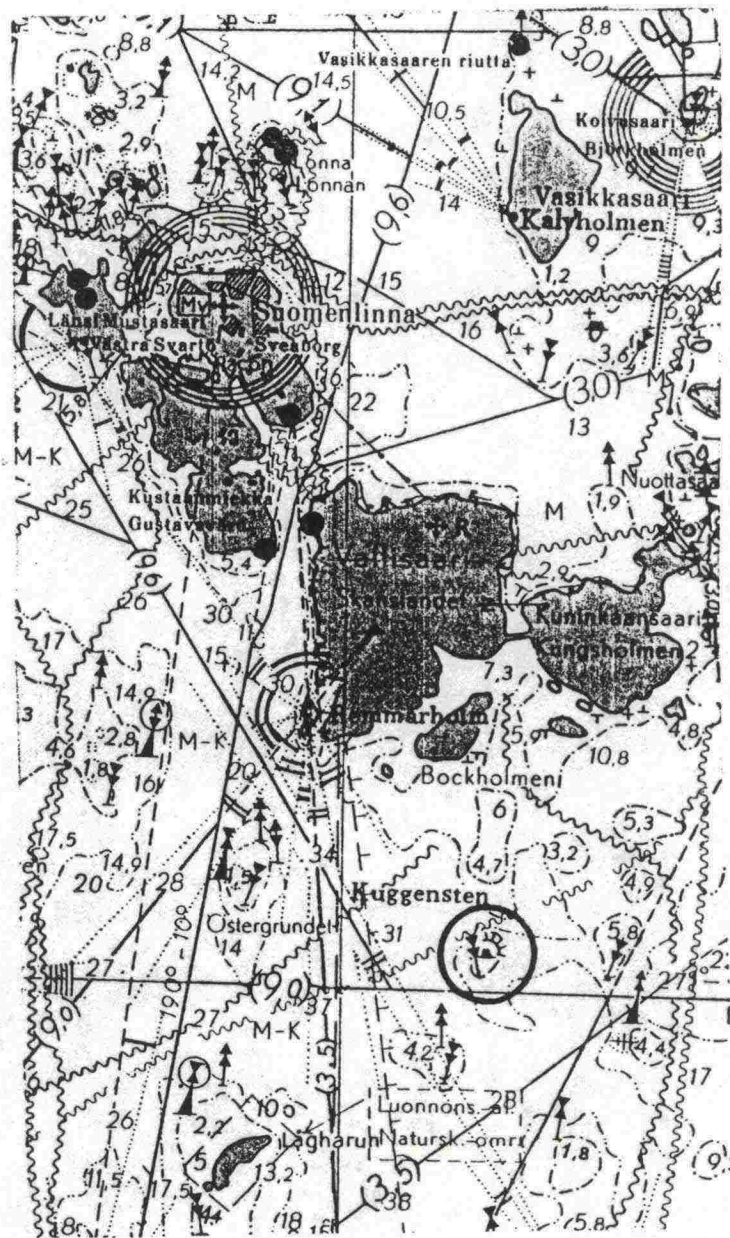
Väylän syvyystieto on digitoitu merikorteista ja harauskartoista kiinnittäen erityistä huomiota Kustaanmiekan kapean väylän esittämiseen mahdollisimman realistisena. Syvyystiedon oleellinen osa on väylän reunoilla sijaitsevat penkat ja matalikot. Kustaanmiekan nykyisen väylän syvyystiedot on esitetty kuvassa 1a. Myös simulaattoriväylän merkintä vastasi nykyistä tilannetta ja on esitetty merikortissa, kuva 1b.

Laivan ajaessa yhdensuuntaisesti kanavamaisen väylän reunan lähellä syntyy laivan ympärille muodostuneesta virtauskentästä imuvaikutuksia. Kustaanmiekan väylän imuvaikutuksissa on pitkittäinen epäsymmetria, koska Kustaanmieka, Vallisaari ja Ison Mustasaari sijoittuvat väylän reunaan vuorotellen aiheuttaa imuvaikutukset vuorotellen vasemmalta ja oikealta. Näiden imuvaikutusten mallittamisessa simulaattoriin käytettiin pienoismallikokeesta saatuja tuloksia.

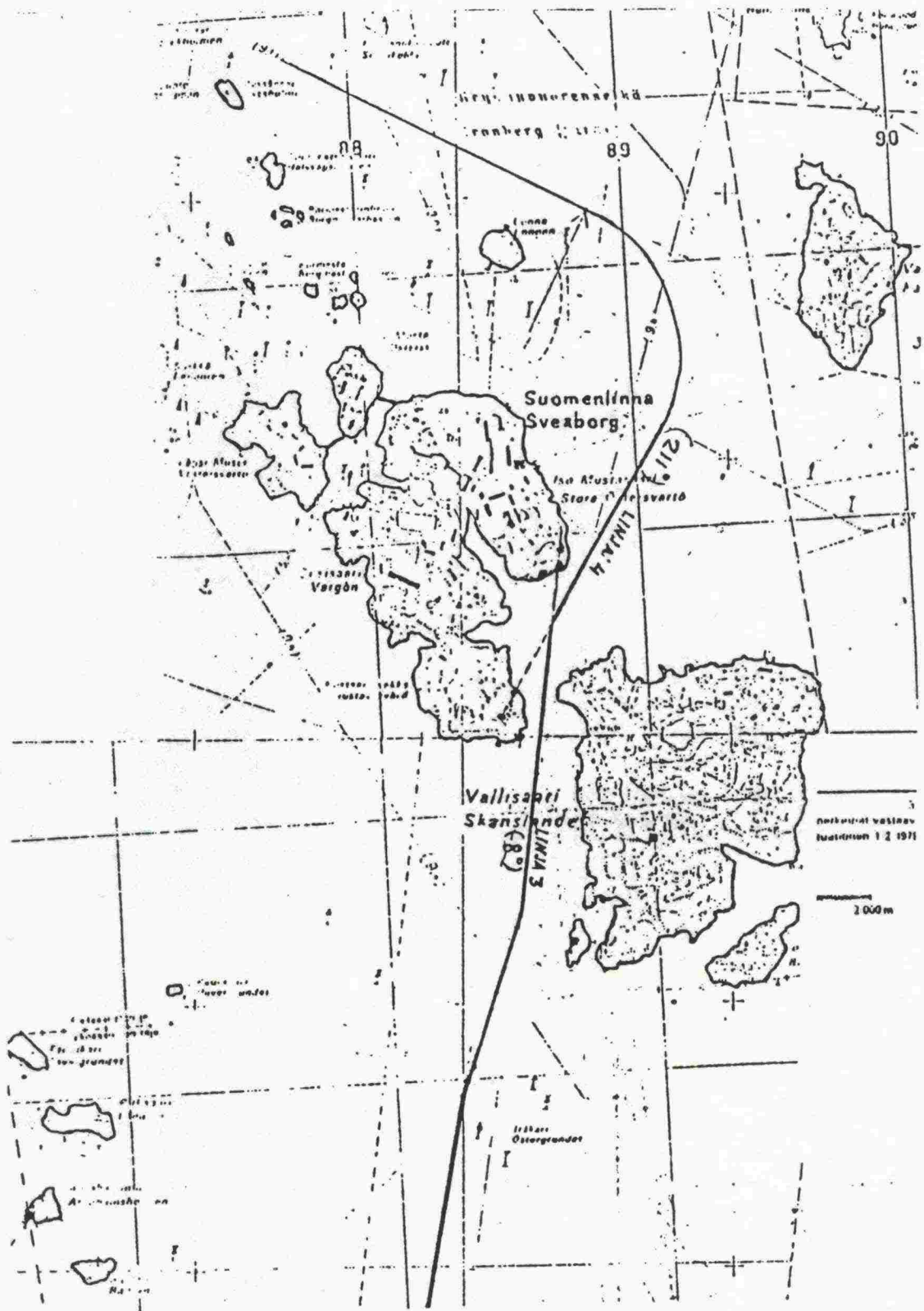
2.2.2 Kustaanmiekan nykyinen väylä täydennettynä linjatauluilla

Sen lisäksi, että Kustaanmiekan nykyistä väylää tutkittiin suurten alusten kannalta, tehtiin simulaattoriajojen avulla tarkastelu Kustaanmiekan merkinnän parantamismahdollisuuksista. Paikannustarkkuutta väylän keskilinjalle pyrittiin parantamaan lisäämällä väylään linjamerkintä salmen kapeimpaan kohtaan, koska nimenomaan paikannustarkkuuden merkitys oli mallikokeessa todettu huomattavaksi. Linjamerkintä suunniteltiin TVH:n Vesitieosastolla. Linjan suunta sisäänajettaessa oli 8 astetta ja ulospäin 211 astetta. Tämä uusi linjamerkintä on esitetty kuvassa 2. Koska molemmat linjat ovat lyhyet eli vaatimus linjan erotustarkkuudelle ei ole suuri, voidaan käyttää pientä taulujen välistä etäisyyttä. Samalla merkintä on käyttökelpoinen myös rajoitetussa näkyvyydessä, sillä molempien linjojen taulut oli sijoitettu Suomenlinnan saarille.





Kuva 1b. Nykyinen Kustaanmiekkan väylä
Merkintä merikortilla



Kuva 2. Kustaanmiekkään lisättyjen linjataulujen paikat ja linjojen suunnat

2.2.3 Särkängsalmen väylä

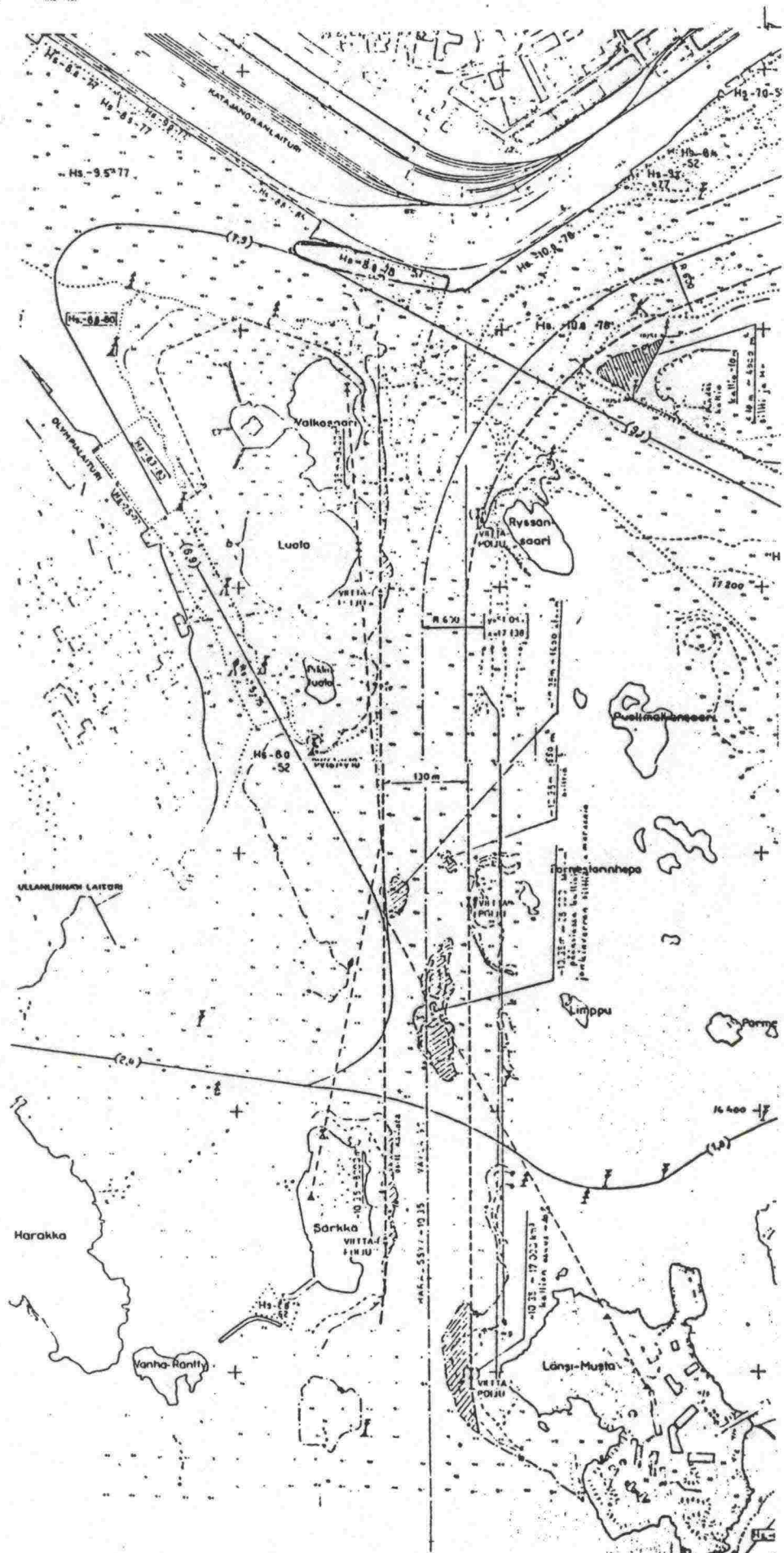
Särkängsalmen väylävaihtoehto vastasi mallikokeissa käytettyä sekä ruoppauslaajuudeltaan että merkinnältään. Kuvassa 3a on esitetty Särkängsalmen väylän syvyystiedot ja merkintä. Simulaattoriajoissa Särkängin väylää voitiin ajaa olosuhteissa, jotka olivat lähellä todellista käytäntöä. Ajoissa oli nyt mukana sekä lähestymisajo käännöksineen tultaessa Särkängsalmeen ja lähdetessä sivuuttamaan Katajanokkaa. Lisäksi väylän ajamiseen liittyvä nopeuden vähentäminen oli mahdollista. Tällaisesta ajokokonaisuudesta on kuvassa 3b esimerkkinä reittisuunnitelma Harmajalta Kruunuvuoren selälle.

2.3 Laivamallit

Simulaattorin laivamallit on kehitetty joko lähtien pienoismallikokeista tai käyttäen perustana simulaattorin laivadatapankkia. Sen lisäksi että alusten perusohjailuominaisuudet kuten kääntymiskyky, suuntavakavuus ja pysäytys vastaavat todellisia aluksia on pääkoneet, potkurit ja poikittaistyöntölaitteet on valittu oikean tyyppisiksi ja tehoiltaan oikean suuruiseksi sekä dynaamisilta ominaisuuksiltaan todellisiksi.

Laivamalleja simulaattoriajoissa oli käytössä kolme. Kaksi näistä aluksista oli valittu edustamaan suurinta aluskokoa, joka tulevaisuudessa voi säännöllisessä liikenteessä käyttää Kustanmiekan väylää. Näiden tulevaisuuden alusten pituus oli noin 200 metriä, ja ne olivat tyypiltään RoRo/konttialus ja matkustaja-autolautta. Kolmantena aluksena oli käytössä nykyistä liikennettä vastaava matkustajalautta, jonka avulla tarkasteltiin aluskoon vaikutusta tuloksiin. Tästä eteenpäin tutkimus- selostuksessa kutsutaan RoRo/konttialusta Roro'ksi, uutta, suurempaa, matkustaja-autolauttaa lautaksi ja nykyisten kokoista alusta nykylautaksi.

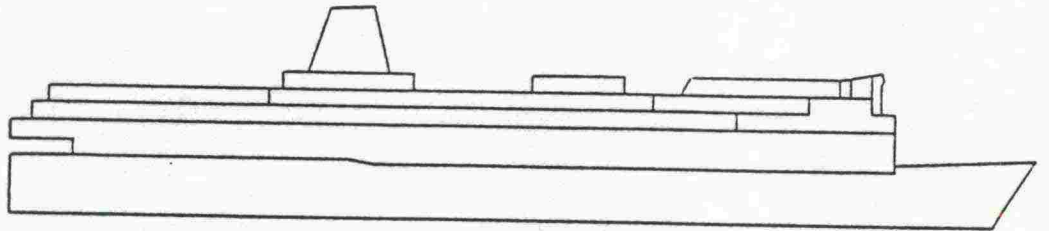
Näistä ainoastaan matkustaja-autolautta vastasi pienoismallikokeessa käytettyä laivaa. Roro-aluksen kokoa oli hieman pienennetty realistisemman kokoiseksi. Nykylauttaa vastavaa alusta ei ollut mukana mallikokeessa. Laivojen päämitat on esitetty alla olevassa taulukossa ja niiden sivuprofiilit kooltaan suhteessa toisiinsa on esitetty kuvassa 4.



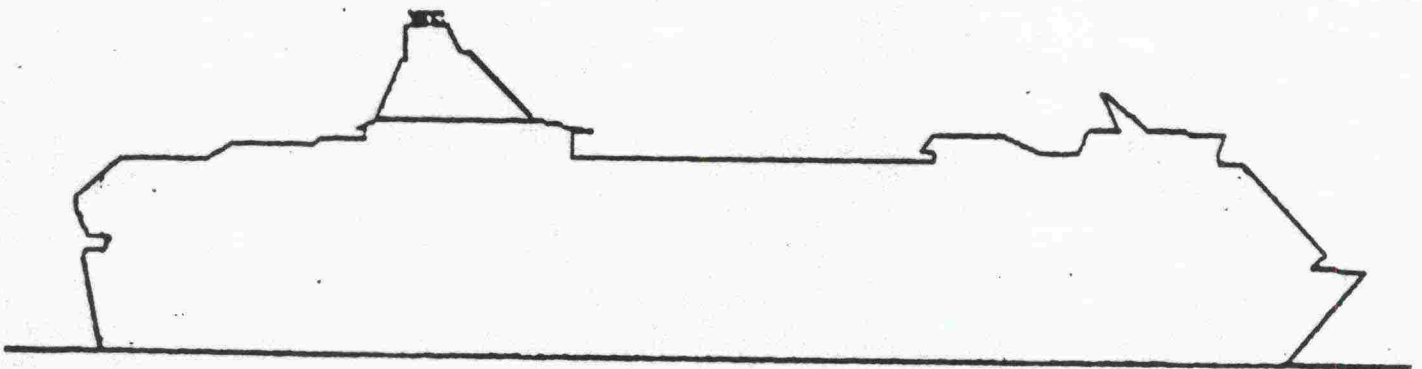
Kuva 3a. Särkän väyläsuunnitelma
 Syvyydet ja merkintä

Nykylautta

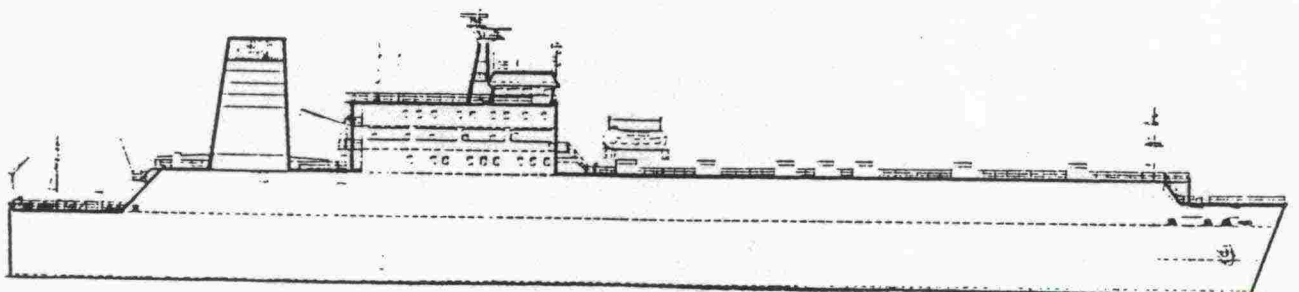
SCALE (m)
0 50



Lautta



Roro

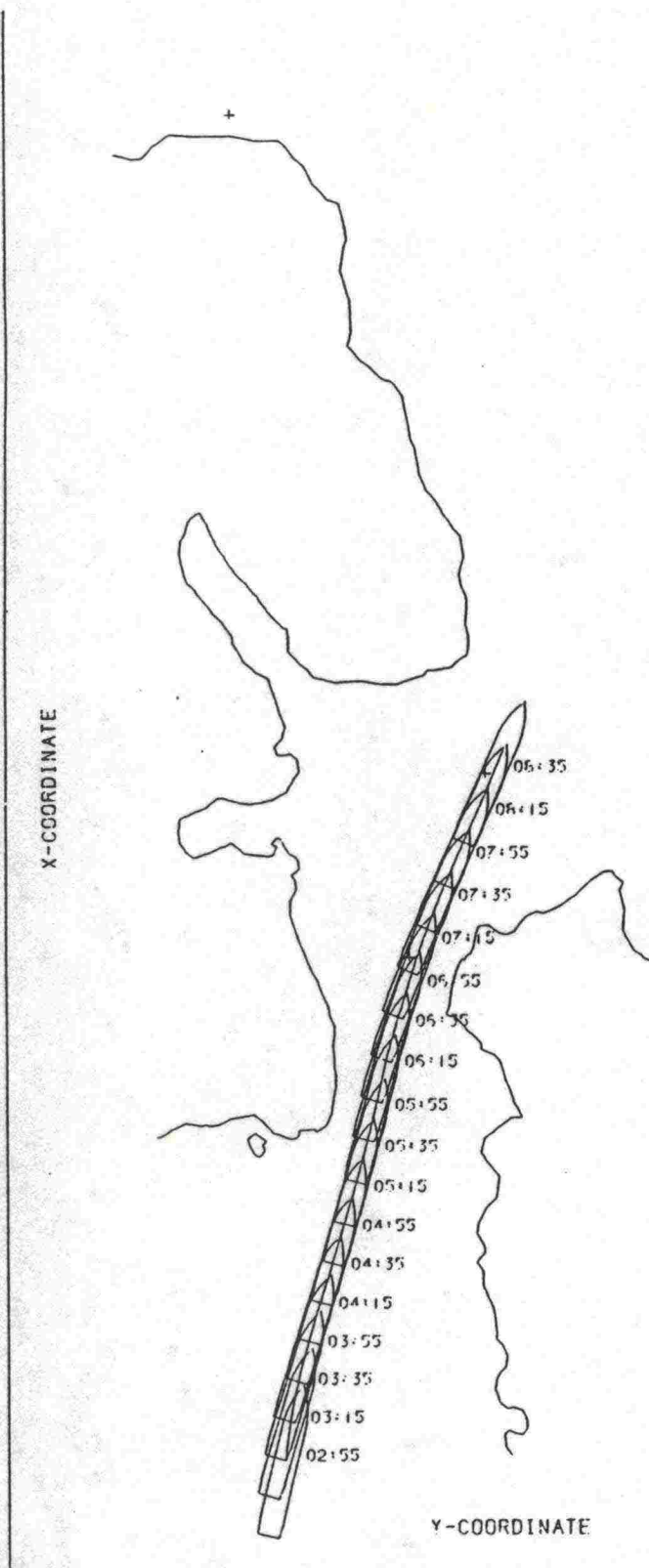


Kuva 4. Simulaattorilaivojen sivuprofiilit samassa mittakaavassa

		nykylautta	roro/konttialus	lautta
Pituus; suurin	[m]	160.0	203.0	203.5
Pituus; pp	[m]	150.0	190.0	180.6
Leveys	[m]	24.8	29.0	31.5
Konstruktiosyväys	[m]	6.1	9.0	6.8
Konstruktiouppouma; kvv	[m ³]	15 030	27 400	25 145
potkurien lkm	[-]	2	1	2
peräsinten lkm	[-]	2	1	2

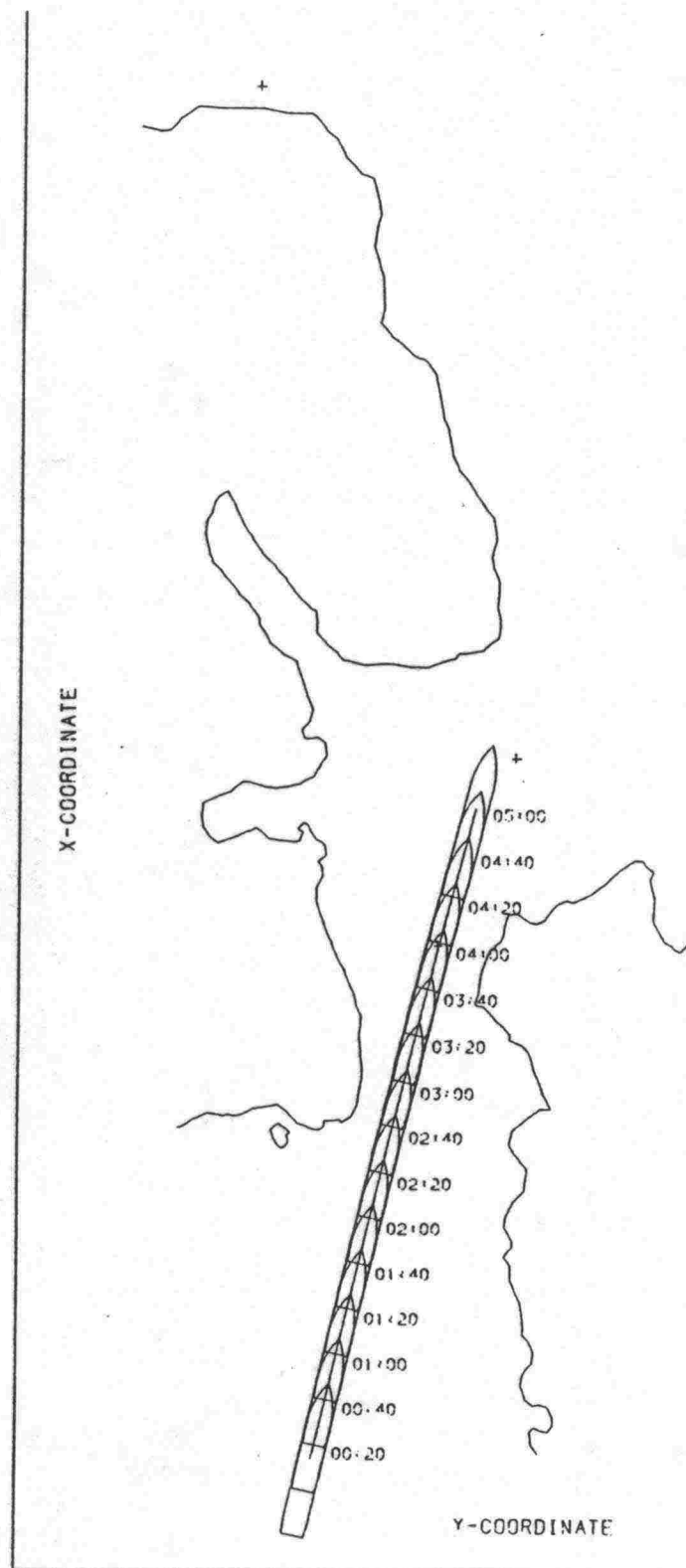
Laivamalleista uuden sukupolven autolautan malli muokattiin vastaamaan Silja-line'lle rakennettavana olevan matkustaja-autolautan ohjailuominaisuuksia käyttäen lähteinä mallikoeraportteja propulsio- ja ohjailukokeista (Marintek 1988a ja b) ja tuulivoimamittauksista (VTT/LAI 1989). Roro-aluksen ohjailuominaisuuksia määritettäessä pidettiin esikuvana m/s Arcturusta, joka suurennettiin Kustaanmiekan maksimikokoon käyttäen pohjana simulaattorin olemassa olevaa alusta. Tuulivoimien mallittamisessa oli lähteenä tuulivoimamittausten raportti (VTT/LAI 1982). Nykylautan simulointimalliksi valittiin suoraan yksi simulaattorin laivamalli.

Alusten varsinaisten ohjailuominaisuuksien lisäksi kiinnitettiin erityistä huomiota väylän reunojen imuvaikutusten mallitukseen. Koska Kustaanmiekan väylä on kapea ja sen hydraulinen muoto on hyvin vaihteleva käytettiin simulaattorimallin kalibroinnissa hyväksi hydraulisella mallilla saatuja tuloksia kuten edellä väylämallin yhteydessä mainittiin. Mallikokeissa laivojen käyttäytymistä väylässä selvitettiin ilman ohjausta, peräsimet keskellä suoritetuissa ajosarjoissa. Näissä ajoissa laiva ohjattiin salmeen kolmeen kohtaan - oikeaan reunaan, keskelle ja vasempaan reunaan - kolmella nopeudella, jotka vastasivat 5, 10 ja 15 solmua. Simulaattorialusten käyttäytyminen muokattiin vastaamaan näiden pienoismalliajojen tuloksia. Esimerkkeinä reunavaikutusten mallittamisesta ovat kuvat 5a - 5c, joissa on esitettyä reunavaikutus sekä mallimittakaavassa että simulaattorissa nopeuksilla 5, 11 ja 15 solmua.



BANK EFFECT TEST IN MODEL SCALE

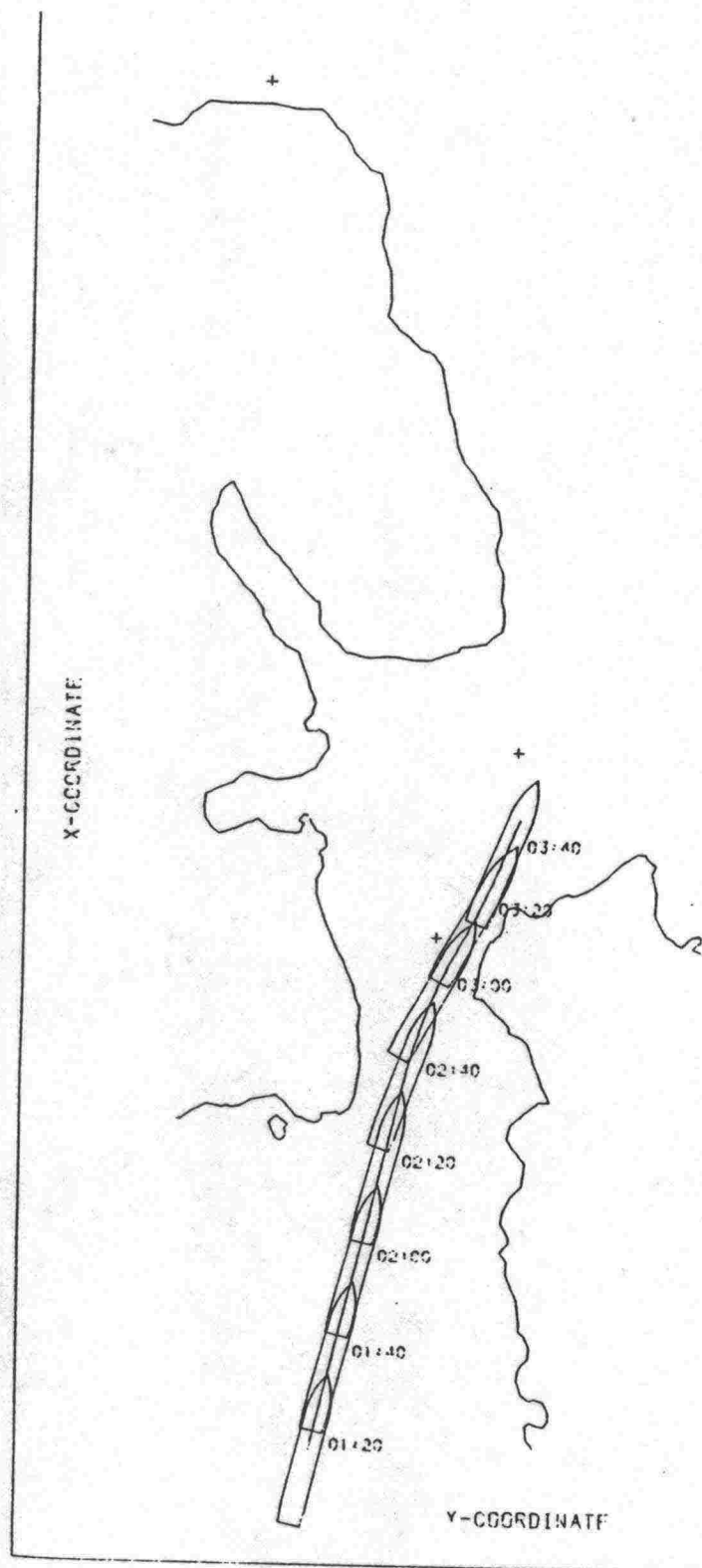
CONTROLS FIXED. APPROACHING SPEED 5 KNOTS.



BANK EFFECT TEST IN SIMULATOR.

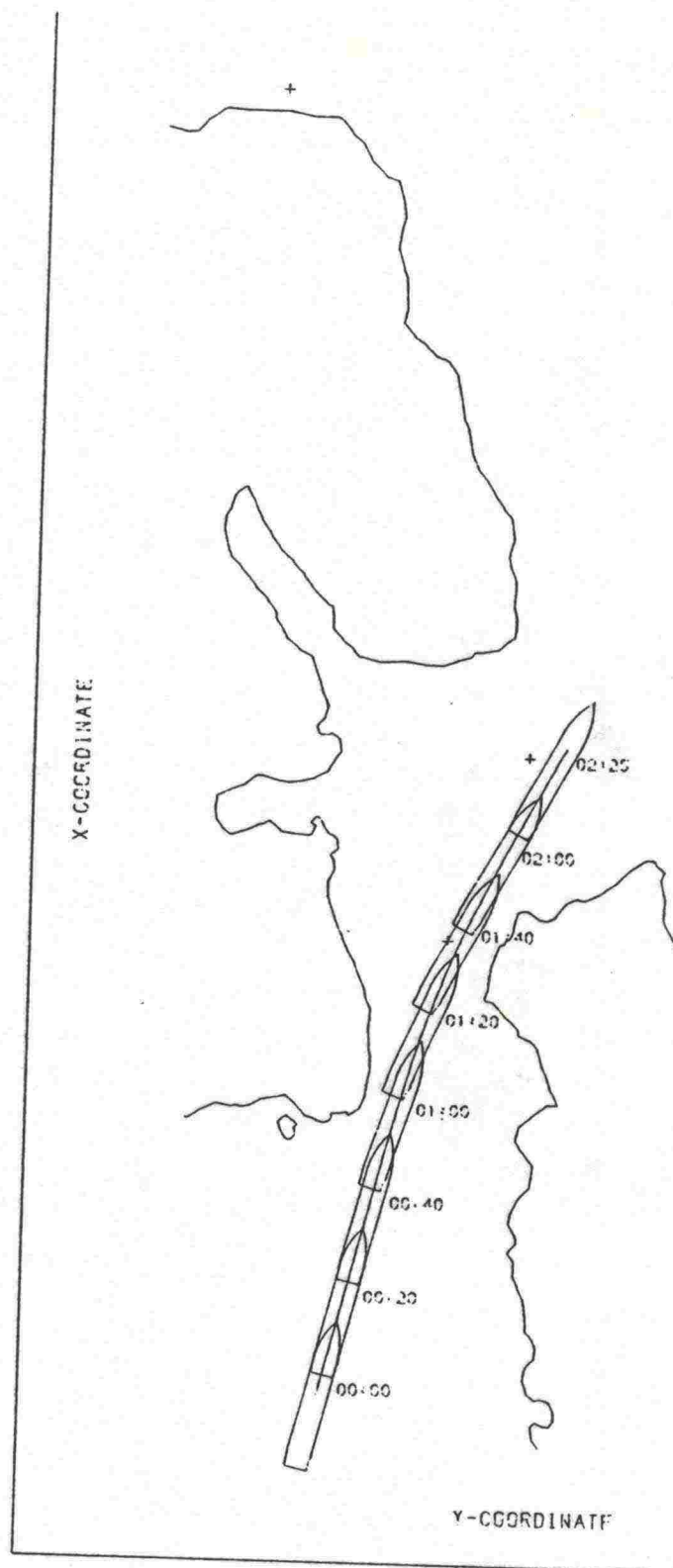
CONTROLS FIXED. APPROACHING SPEED 5 KNOTS.

Kuva 5a. Saarten imuvaikutukset Kustaanmiekassa
Peräsimet lukittuna, nopeus 5 solmua
Mallikoetulos verrattuna simulaattoriin



BANK EFFECT TEST IN MODEL SCALE

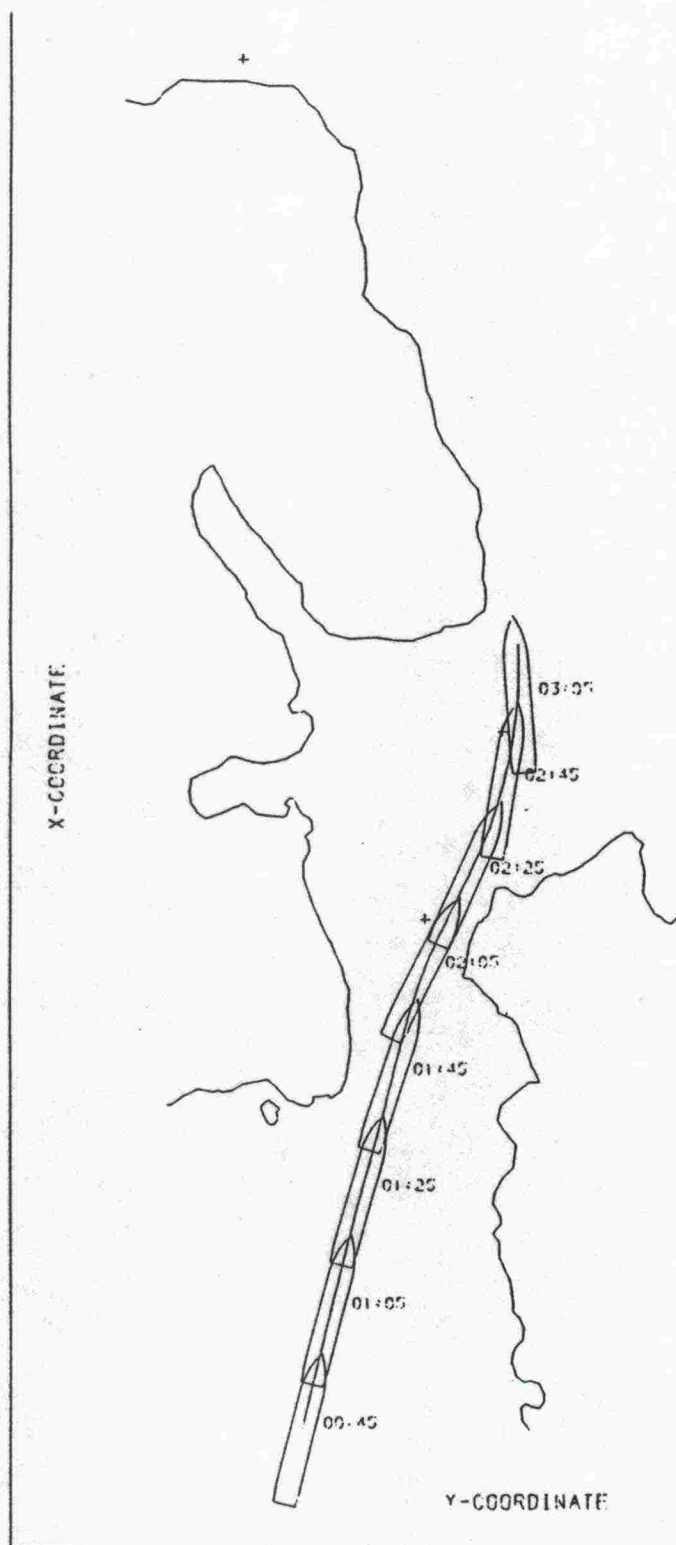
CONTROLS FIXED APPROACHING SPEED 11 KNOTS



BANK EFFECT TEST IN SIMULATOR

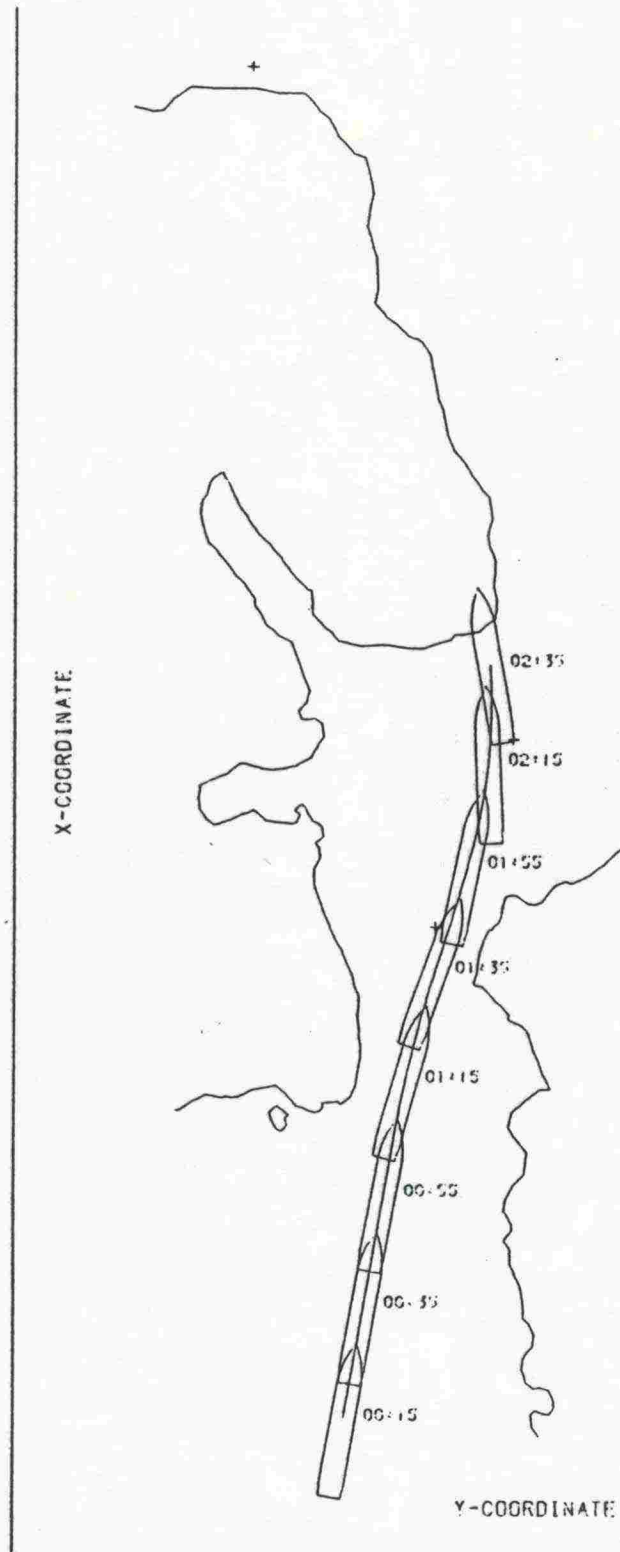
CONTROLS FIXED. APPROACHING SPEED 11 KNOTS.

Kuva 5b. Saarten imuvaikutukset Kustaanmiekassa
Peräsimet lukittuna, nopeus 11 solmua
Mallikoetulos verrattuna simulaattoriin



BANK EFFECT TEST IN MODEL SCALE

CONTROLS FIXED APPROACHING SPEED 15 KNOTS



BANK EFFECT TEST IN SIMULATOR

CONTROLS FIXED. APPROACHING SPEED 15 KNOTS

Kuva 5c. Saarten imuvaikutukset Kustaanmiekassa
Peräsimet lukittuna, nopeus 15 solmua
Mallikoetulos verrattuna simulaattoriin

3. Simulaattoriajojen suoritustapa

3.1 Kokeiden periaatteellinen tausta

Keväällä 1989 tehtyjä Helsingin sisääntuloväylien pienoismallikokeita päätettiin täydentää VTT:n laivatekniikan laboratorion aluksenkäsittelysimulaattorilla Otaniemessä, koska laivojen väyläajon tutkimiseen pienoismallikokein aina liittyy aikaskaalan nopeutuminen ja ohjaamisen suorittaminen enemmän tai vähemmän epätodellisesta lintuperspektiivistä. Alusekäsittelysimulaattorissa laivan ohjaaminen tapahtuu reaaliajassa komentosillalta, joka on varustettu samoilla navigointi- ja hallintalaitteilla kuin todellisuudessa. Lisäksi komentosillalta on lähes realistinen perspektiivinäkymä väylälle. Tämä väylämaisema sisältää samat merimerkit ja navigoinnin kannalta oleelliset ranta-viivat kuin todellinenkin maisema. Laivan liikkeitä väylällä ja sen reaktioita ohjaamiseen sekä väylän syvyyden ja leveyden vaihteluun tai ulkoisiin olosuhteisiin kuten tuuleen kuvataan matemaattisella mallilla.

Simulaattoriajot Kustaanmiekkan ja Särkängsalmen sisääntuloväylissä täydensivät hydraulisen pienoismallin kokeita. Simulaattoriajojen avulla selvitettiin mikä vaikutus alusten liikeratoihin on ajon suorittamisella reaaliajassa komentosillalta väylämaisemaa merimerkkeineen ja tutkaa hyväksi käyttäen. Ajamalla osittain samoilla laivatyypeillä samoissa olosuhteissa tarkennettiin ja varmennettiin pienoismallista saatavia tuloksia. Väylät simulaattorissa olivat myös pidempiä kuin mallikokeissa eli sekä Kustaanmiekassa että Särkängsalmen väylässä oli mahdollista tehdä riittävän pitkä lähestymisajo ja jälkimmäisessä väylässä voitiin myös ajaa ohi Katajanokan Kruunuvuoren selälle tai Sompasaareen. Lisäpiirteinä ovat vuorokaudenajan ja näkyvyysolosuhteiden vaikutukset.

Mallikokeen tuloksia pyrittiin tarkentamaan reunamarginaalien, ajo-kaistan leveyden sekä pohjakosketuksien määrän osalta ja toteuttamalla Särkäng väylän ajot olosuhteissa, jotka olivat lähempänä todellista käytäntöä. Särkäng väylän mallikokeissa ei nimittäin koeteknisistä syistä suoritettu nopeuden hidastusta eikä väylä sisältänyt käännöksiä tultaessa Särkängsalmeen tai lähdetäessä sivuuttamaan Katajanokkaa. Simulaattoriajoilla pyrittiin siis selvittämään Särkäng salmen väylän osalta onko se todellinen vaihtoehto Kustaanmiekalle.

Koska kaikki ajot pienoismalleilla oli ajettu sisäänpäin tarkastelua täydennettiin simulaattorissa suorittamalla ajoja myös ulos satamasta. Aluskoon vaikutusta selvitettiin ajamalla ajoja myös nykyistä aluskokoa vastaavalla vertailulaivalla.

Simulaattoriajoilla suoritettiin myös tarkastelu Kustaanmiekkan merkinän parantamismahdollisuuksista. Linjamerkintää lisäämällä pyrittiin parantamaan paikannustarkkuutta väylän keskilinjalle, koska nimenomaan paikannustarkkuuden merkitys oli mallikokeessa todettu tärkeäksi reunojen imuvaikutusten hallitsemiseksi suuremmilla nopeuksilla.

Sekä mallikokeissa että simulaattoriajoissa on mahdollista suorittaa vain äärellinen määrä ajoja, joilla olisi selvitettävä tutkittavien väylävaihtoehtojen erot laivojen ohjailun kannalta. Tästä syystä koeolosuhteet oli valittu mahdollisimman vaikeiksi. Oletuksena oli, että hankalissa olosuhteissa väylät erottuvat selvimmin toisistaan. Ulkoisista olosuhteista vaikein Kustaanmiekkan kapeassa salmessa on tuuli. Lisäksi osa simulaattoriajojen olosuhteista oli valittu identtisiksi mallikokeissa käytettyjen kanssa.

3.2 Koeolosuhteet

Kuten edellä todettiin on Kustaanmiekkan salmessa ulkoisista olosuhteista vaikein tuuli. Lautta ja roro ovat alustyyppejä, joita karakterisoi suuri tuulipinta ja siihen verrattuna pieni vedenalainen lateraalipinta. Suurta nopeutta tarvitaan ison tuulipinnan omaavilla aluksilla kovassa sivutuulella, koska nopeutta kasvatettaessa pienenee sivuttaissortumista kompensoimaan tarvittava sortokulma. Toisaalta suurella nopeudella kapean salmen rannoista aiheutuvat imuvaikutukset kasvavat. Lisäksi ohjaamista hankaloittaa tuulen aiheuttama laivaa kääntävä momentti, joka ohjattavuuden säilyttämiseksi edellyttää nopeuden ylläpitämistä.

Edellisen perusteella muuttuvana koeolosuhteena käytettiin tuulta. Tuulen suunnista ja nopeuksista päätettäessä kysyttiin merenkulkijoiden mielipidettä hankalimmista olosuhteista. Lisäksi selvitettiin Ilmatieteen laitoksen tuulitilastoista eri tuulennopeuksien ja tuulensuuntien esiintymistiheys (Heino, R. ja Hellsten, E., 1983). Tuulen nopeus Katajaluodossa on ollut ≥ 15 m/s 1.41 prosentissa havainnoista ja 0.14 prosenttia ≥ 19

m/s, joita vastaavat kokonaiskestot yhden vuoden aikana tosin jakautuneena useampaan ajankohtaan ovat noin viisi ja noin puoli vuorokautta.

Ajosuunnat sisään ja ulos Kustaanmiekasta eroavat toisistaan ympäröivien saarten aiheuttaman tuulen katveen suuruudessa. Kruunuvuoren selkä on suojaisampi lähestymisalue kuin Harmajan ja Kustaanmiekan välinen vesialue. Näiden perusteella päädyttiin simulaattoriajoissa ajosuunnan mukaan vaihteleviin tuulen nopeuksiin ja suuntiin.

Mallikokeissa tuulen nopeuksia oli käytössä kolme: 0, 15 ja 20 m/s, joista 20 m/s oli tärkeämpi. Tuulen suuntana oli lounas eli 225 astetta minkä lisäksi lautan kohdalla testattiin luode eli suunta 315 astetta. Laivan nopeutena oli käytössä sekä alhainen että suuri nopeus. Pienempi nopeus oli 7 solmua. Suurempana nopeutena bulk-aluksella ja rorolla käytettiin 12 solmua, koska molemmat alukset uivat täydellä 9 metrin syväydellä ja niiden painuma (squat) rajoittaa käytettävää suurinta nopeutta. Lautan suurempi nopeus mallikokeissa oli 14 solmua.

Simulaattoriajoissa aloitusnopeus kaikissa ajoissa oli noin 12 solmua ja aloituspaikka riittävän kaukana Kustaanmiekan salmesta siten, että aluksen ohjaaja saattoi itse sovittaa tilannenopeuden sopivaksi saavuttaessa salmeen. Lisäksi simulaattoriajoissa tarkasteltiin laajempaa tuulennopeusalueita ja useampia tuulen suuntia kuin mallikokeissa. Vuorokauden ajankohdaksi simulaattoriajoissa oli valittu aamu ja maiseman valotasoksi niin hämärä, että väylämerkinnän - loistojen, linjataulujen ja poiijujen - valot näkyivät. Näkyvyys ajoissa vaihteli 0.3 mailista 2.0 mailiin. Eri laivojen ja väylien yhteydessä käytetyt tuulen suunnat ja nopeudet on eritelty suoritettujen ajot esittävissä taulukoissa 1a, 1b ja 1c. Taulukot sekä suoritetuista ajoista että kokeiden tuloksista on sijoitettu tutkimusselostuksen loppuun omaksi liitteeksi.

3.3 Ohjaajat

Laivojen ohjaajina toimi joukko Helsingin alueen luotseja ja Eteläsatamaan ja Sompasaareen säännöllisesti liikennöivien alusten päällystöä siten, että matkustaja-autolautat, ja rorot olivat kokemuksessa edustettuina. Kaikenkaikkiaan kokeisiin osallistui 23 ohjaajaa. Luotseja kokeisiin osallistui 10. Varustamoista ohjaajia oli Finn carriers'istä ja Silja Line'istä.

3.4 Kokeiden suoritustapa

Kukin ohjaaja osallistui kokeisiin yhden - kolmen päivän ajan. Koska useimmat ohjaajista olivat osallistuneet jo mallikokeisiin, he tunsivat tutkimustoimeksiannon jo tullessaan paikalle. Ohjaamismenetelmä oli valittu muistuttamaan mahdollisimman paljon realistisia olosuhteita. Ajoissa oli mukana yleensä samanaikaisesti kaksi, joinakin päivinä kolme, ohjaajaa, joista toinen suoritti varsinaisen ajon antaen ohjailukomentoja ruorimiehenä toimineelle toiselle ohjaajalle.

Ajotehtäväksi annettiin Kustaanmiekan tai Särkän väylän ajo omalla tavalla ja säätäen itse ajonopeus salmeen tultaessa. Aloitusnopeus oli kaikissa ajoissa noin 12 solmua ja aloituspaikka sijaitsi vähintään mailin päässä salmesta, jotta laiva olisi ollut täysin hallinnassa jo valmistuttaessa lähestymisajoon. Kustaanmiekan linjatauluversion yhteydessä esitettiin ennen ensimmäistä ajoa merikortilta linjataulujen sijainti ja linjojen suunnat. Ajo-ohje oli sama kuin ilman linjatauluja tehdyissä ajoissa, joten ohjaajan itsensä päätettäväksi jäi (kuten luonnossa) miten hyödyntää uutta merkintää.

Ohjaajat totuttelivat simulaattoriin parin ensimmäisen ajon aikana. Olosuhteiksi niihin valittiin helpoimmat ja laivoista pienin eli nykyistä kokoa oleva alus. Lisäksi ensimmäinen ajo oli pitkä, aloitettu Harmajan tasalta. Muut ajot ajettiin satunnaisessa järjestyksessä ja eri ohjaajat vuorotellen, jotta oppimisprosessin vaikutuksia vähennettäisiin.

3.5 Koeohjelma

Kaikkiaan simulaattoriajoja tehtiin 166 kappaletta, jotka jakautuivat eri väylien osalta seuraavasti: Kustaanmiekka nykyisellään 91, Kustaanmiekka linjatauluilla varustettuna 60 ja Särkkä 15 ajoa. Suoritetut ajot on esitetty väylittäin ja laivoittain olosuhteittain taulukoissa 1a, 1b ja 1c.

Äärellisen ajosarjojen lukumäärän puitteissa ei kaikkia kiinnostavia vaihtoehtoja voi käydä läpi eikä se ole myöskään tarkoituksenmukaista. Perusratkaisuna oli, että kaikilla laivoilla ajetaan kaikki väylävaihtoehdot molempiin suuntiin sekä ilman tuulta että tuulen kanssa. Koska nykylautan painoarvo oli pienempi kuin muiden alusten, ajettiin sillä vähemmän ajaja.

4. Ajojen analysointi

4.1 Analysoinnin periaatteet

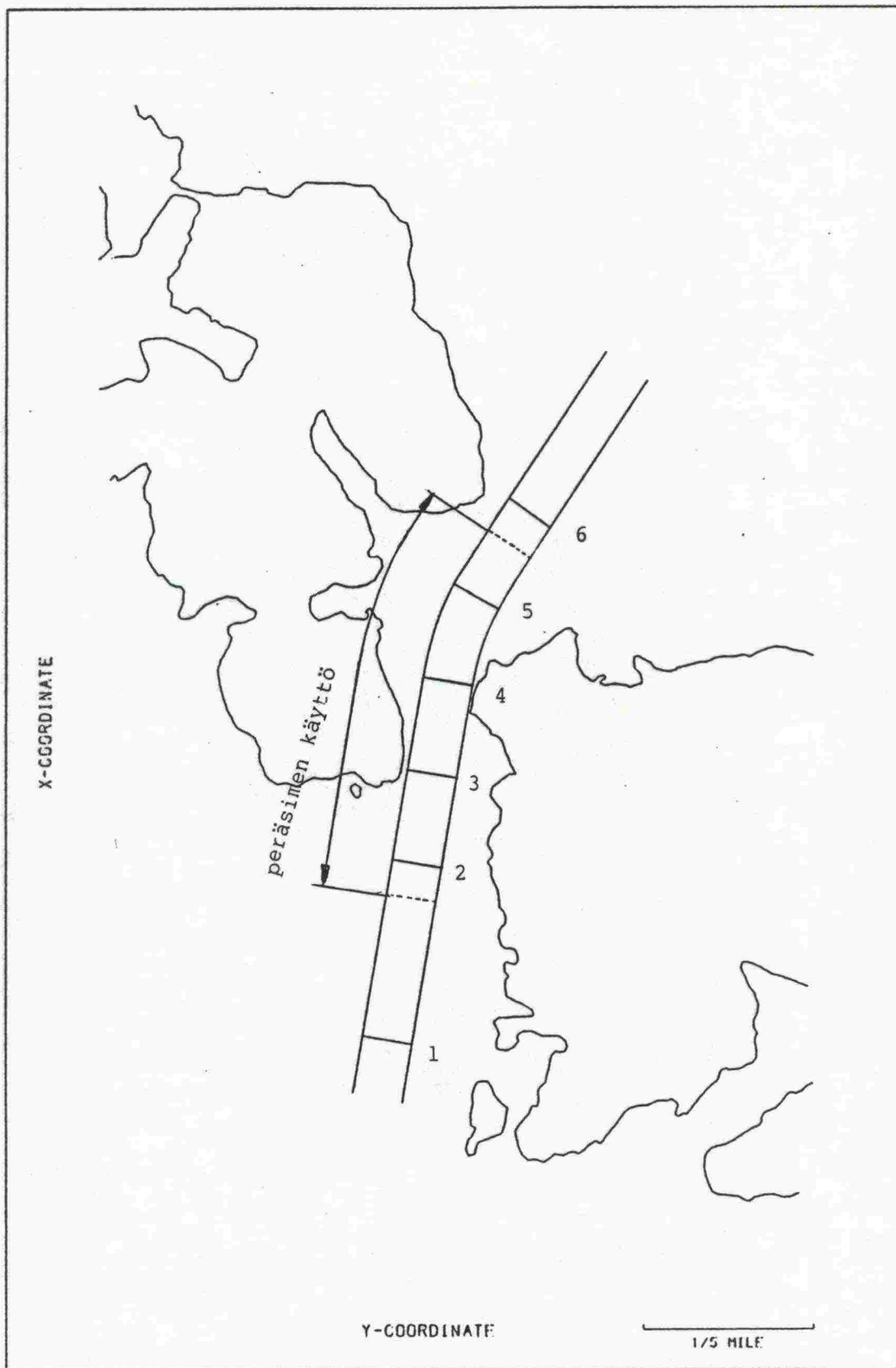
Yksittäisten simulaattoriajojen analysointi suoritettiin hyvin täydellisesti ja identtisenä mallikokeiden tulosten kanssa käyttäen samoja tietokoneohjelmia. Eräänä tärkeänä tavoitteena oli vertailu mallikoetulosten ja simulaattoriajojen välillä, jotta lopullisesta väyliä arviointia varten voitaisiin saada mahdollisimman täydellinen kuva väyliä ajamiseen liittyvistä vaikeuksista.

Ajoista rekisteröitiin jatkuvana aikahistoriana sijainti ja asento väylässä, kaikki nopeuskomponentit ja myös ohjaussuureet eli potkurien kierrosluvut / lapakulmat ja peräsinkulma.

Väylät sekä Kustaanmiekasta että Särkän kautta on analysointia varten määritelty referenssiajolinjan, väylän reunojen ja poikkileikkausten avulla. Kustaanmiekkan väylän reunaviivojen ja poikkileikkausten määrittely on esitetty kuvassa 6 ja referenssiajolinja kuvassa 7. Ajolinjan suunta Kustaanmiekkan läpi on 10 astetta ja suunnanmuutoksen suuruus on 25 astetta. Väyläalueen leveys on 110 metriä ja leikkausten välinen etäisyys salmessa on 200 metriä. Leikkaukset 1, 2, 3 ja 4, joiden avulla tarkasteltiin lähestymiajoa sekä Kustaanmiekkan ja Vallisaaren ohitusta, ovat paikat tarkempaa analysointia varten. Poikkileikkauksissa lasketaan eri olosuhteissa tehdyille ajosarjoille laivan kylkien keskiarvoetäisyydet ja näiden keskihajonnat väylän reunoihin. Lisäksi analysoinnissa tarkasteltavia suureita ovat laivan peräsimen käyttö ja sortokulma. Särkän väylän määrittely on esitetty kuvassa 8. Tässä väylässä analysoinnit on tehty poikkileikkauksissa 11, 13, 15 ja 17.

Analysoidut ajoryhmät valittiin eri tarkasteluparametrien mukaisesti. Näitä parametrejä olivat pohjakosketukset, linjataulujen vaikutukset ajotapahtumaan, eri väylät, tuulen vaikutus, ajosuunta ja laivatyypit. Linjataulujen ja tuulen vaikutuksia tuloksiin selvitettiin sekä erikseen eri laivoille että yhtenä kokonaisuutena kaikille, jolloin käytettävissä oli suurempi ja tilastollisesti merkittävämpi määrä ajoja. Kaikkiaan analysoituja ajoryhmiä oli 26.

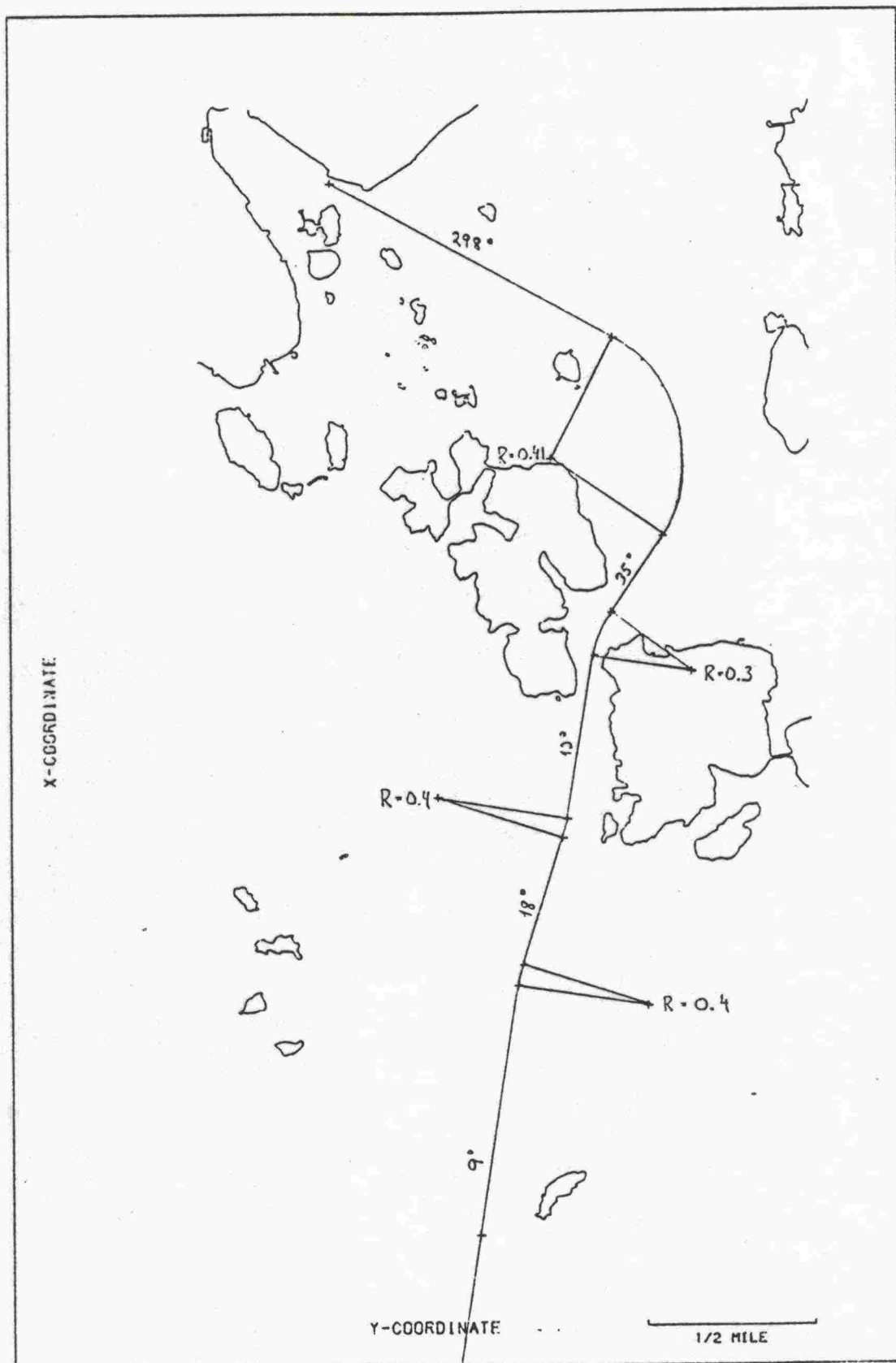
VTT SHIP LABORATORY



KUSTAANMIEKKA

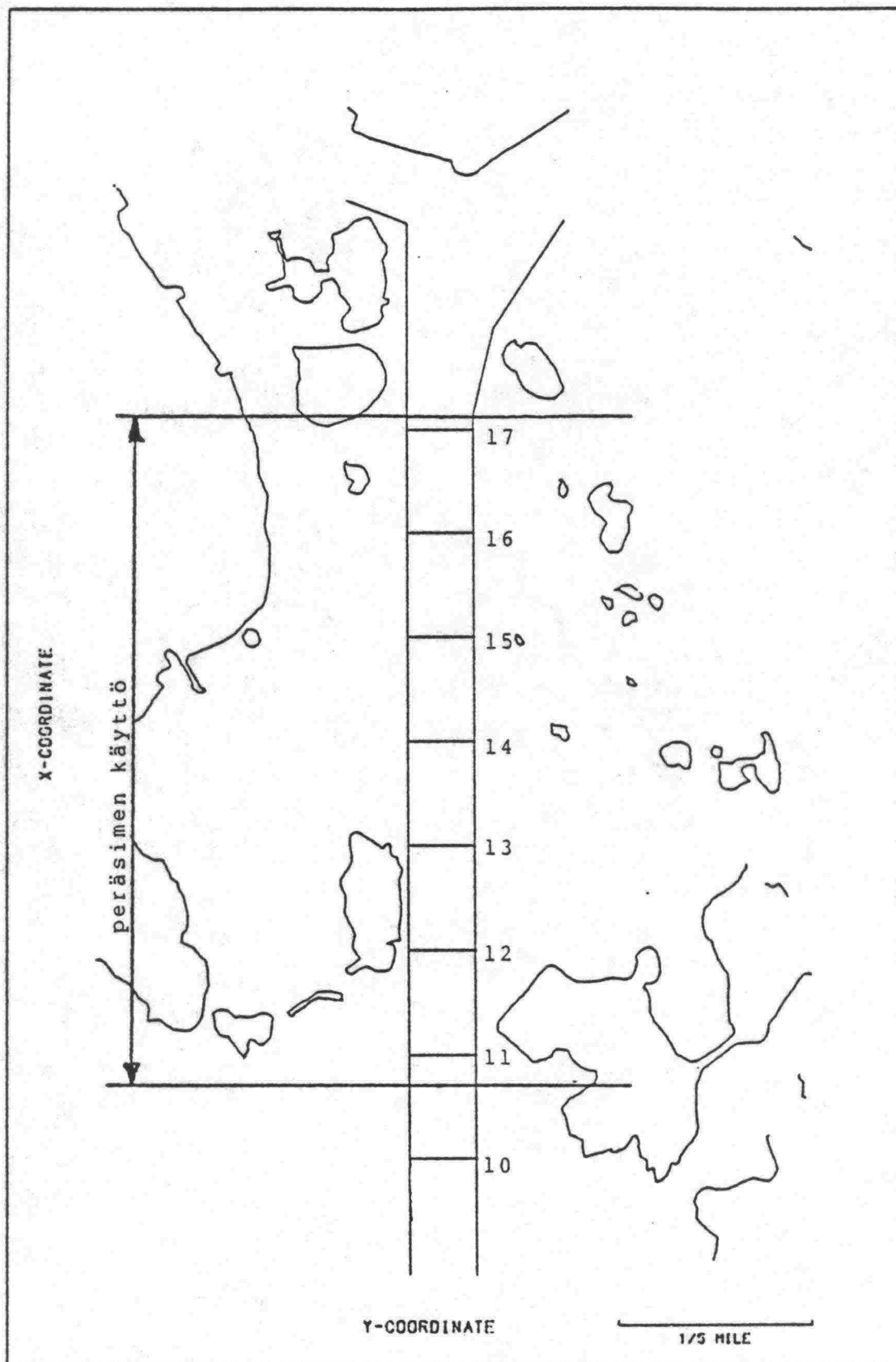
Kuva 6. Kustaanmiekkan väylän väyläleikkaukset ja peräsimen käytön laskenta-alue

VTT SHIP LABORATORY



SYLEDIS TRACK

VTT SHIP LABORATORY



SARKKA

Kuva 8. Särkännämsundet väyläleikkaukset ja peräsimen käytön laskenta-alue

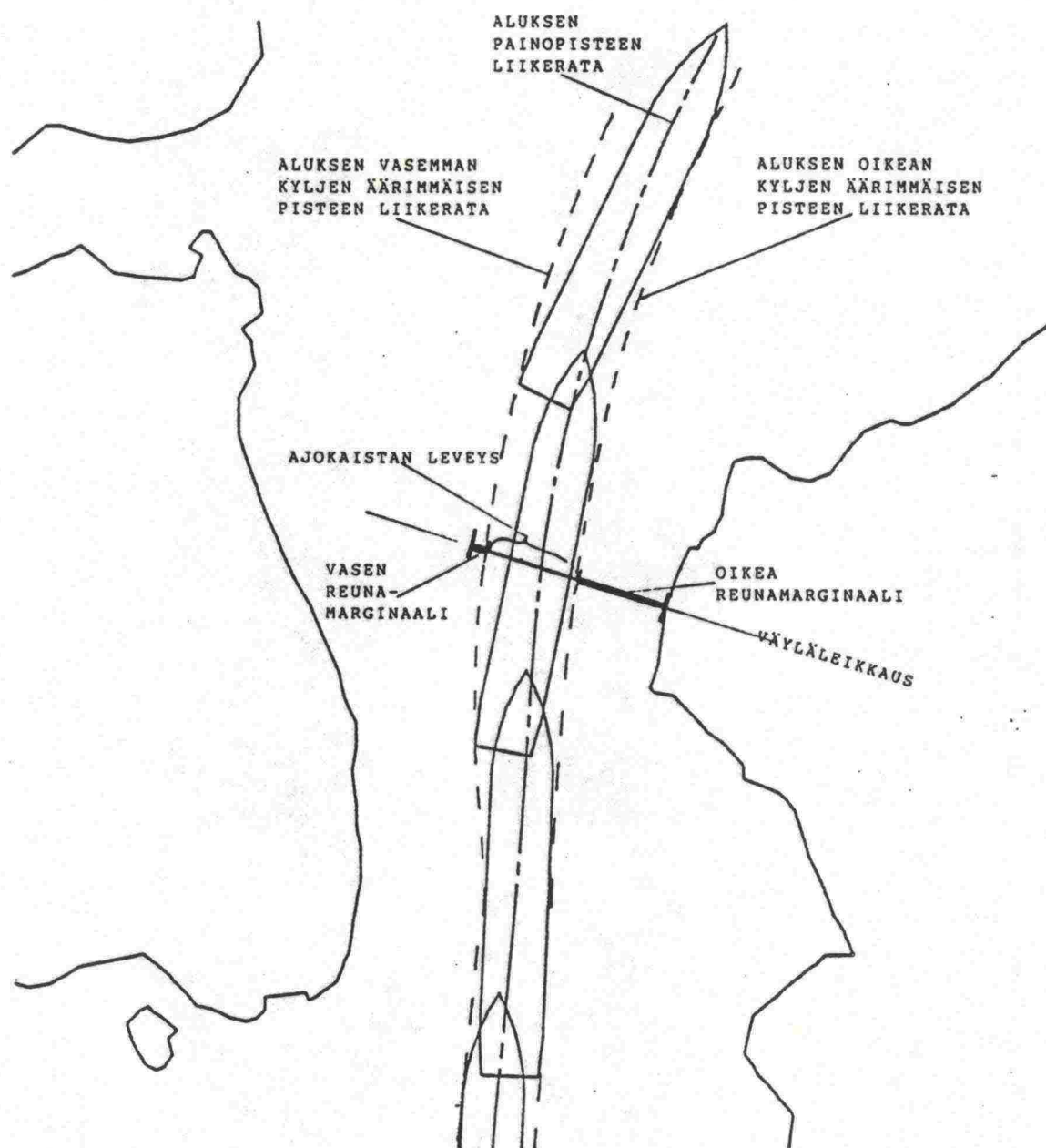
4.2 Väylätilan käyttö

Aluksen käyttämää väylätilaa tarkasteltiin ajokaistan leveyden ja laivan kyljen ja väylän reunan väliin jäävän marginaalin avulla. Ajokaistan leveydellä leikkauksessa tarkoitetaan laivan molempien laitojen äärimmäisten pisteiden väliin jäävää etäisyyttä. Tämä suure sisältää myös laivan hetkellisen sortokulman aiheuttaman osuuden, joka aiheutuu tuulesta tai ohjailuliikkeistä. Ajokaistan leveys on aina jonkin verran suurempi kuin laivan leveys. Kuvassa 9. on esitetty väyläleikkauksessa laskettujen ajokaistan leveyden ja reunamarginaalien määrittely.

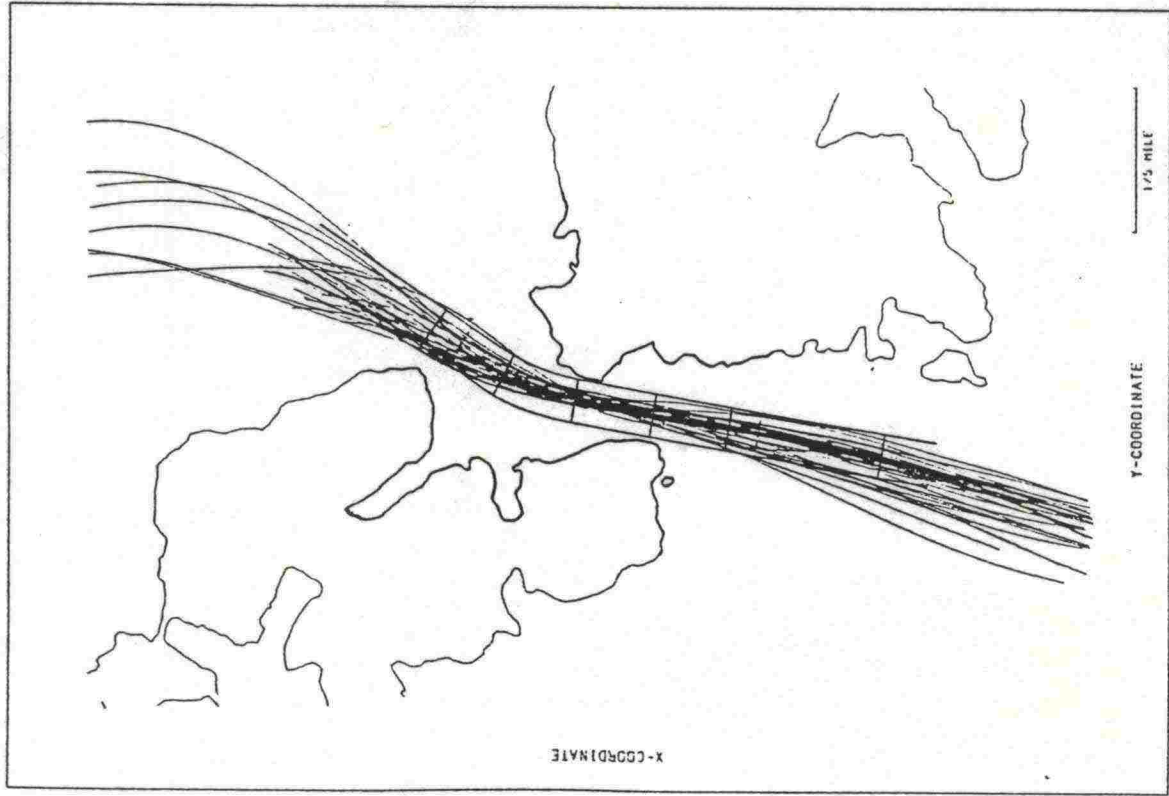
Esimerkki yhden ajoryhmän liikeradoista ja aluksen molempien kylkien liikeratojen jakautumasta kahdessa väyläleikkauksessa on kuvassa 10. Eri ajoryhmille laskettiin jakautumien keskiarvot ja keskihajonnat. Kuvassa 10 on väyläleikkausten jakautumia esittäviin kuviin piirretty myös keskihajontojen avulla määritetyt, molemmille kyljille erilaiset normaalijakautumat. Normaalijakautumaan saatava sovitus on kuvan perusteella kohtuullinen ja käytettävissä tilastolliseen käsittelyyn. (Tämän työn puitteissa ei ole otettu kantaa siihen onko k.o. jakautuma paras mahdollinen k.o. muuttujalle.)

Yksittäisen laivan tietyissä olosuhteissa (ajoryhmässä) tarvitsemaa väylätilaa ja vastaavaa reunamarginaalia leikkauksessa kuvaavat keskiarvosuureet. Normaalijakautuman avulla saadaan koko ajoryhmän väylätilan käytölle rajat, joiden sisälle tietyn osan ajoista arvioidaan sijoittuvan. Noin 2/3 ajoista (68%) sijoittuu rajojen väliin, jotka saadaan keskiarvosta lisäämällä ja vähentämällä eri kylkien keskihajonnat. Ajokaistan leveys 95.5 prosentille ajoista saadaan keskiarvosta lisäämällä ja vähentämällä kaksi kertaa keskihajonnat. Näitä leveyksiä merkitään W_{68} ja W_{95} . Leikkauksessa on laskettu vastaavat arvot myös ryhmien reunamarginaaleille.

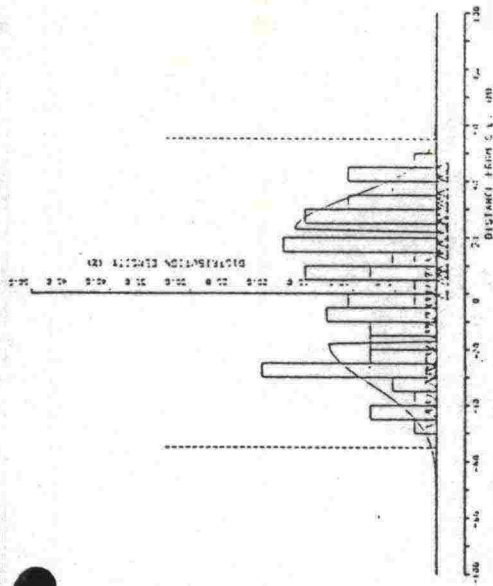
Normaalijakautumia onnistuneiden ajojen tuloksista poikkileikkauksissa käytettiin myös sen todennäköisyyden laskemiseen, että väyläalueen reuna ylitetään. Laskettu todennäköisyys on lähinnä yksi lukuarvo tulosten vertailemiseksi, sillä tarkasteltava ilmiö ei ilmeisesti ole tältä osin normaalisti jakautunut.



Kuva 9. Ajokaistan leveyden ja reunamarginaalien määrittely

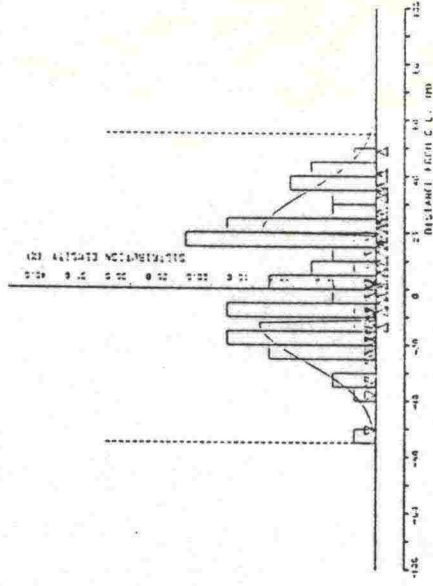


KUUSTAANMIEKKA
SISÄN LAPI EI LINJATAULUA
Kuva 10. Esimerkki ajoryhmästä
Painopisteen liikeradat ja aluksen
kylkien liikeratojen hajonnat kahdessa
leikkauksessa



CROSS-SECTION 4

FAIRWAY WIDTH
NUMBER OF SAMPLES
PORT SIDE DISTR. MEAN STD. ERR. STD. DEV.
FROM FOR EXC. FURT. LIMIT
STARBOARD SIDE DISTR. MEAN STD. ERR. STD. DEV.
FROM FOR EXC. FURT. LIMIT



CROSS-SECTION 3

FAIRWAY WIDTH
NUMBER OF SAMPLES
PORT SIDE DISTR. MEAN STD. ERR. STD. DEV.
FROM FOR EXC. FURT. LIMIT
STARBOARD SIDE DISTR. MEAN STD. ERR. STD. DEV.
FROM FOR EXC. FURT. LIMIT

4.3 Ohjaus- ja liiketilasuureet

Tarkasteltaessa laivan ohjattavuutta väylässä on väylän reunamarginaalin lisäksi oleellista millaisella ohjattavuusmarginaalilla kyseinen ajo on suoritettu. Koska sekä väylän reunojen imuvaikutusten että tuulen vaikutusten - sortumisen ja alusta kääntävän momentin - kompensointiin tarvitaan kohtuullisia peräsinkulmia ja koska laivojen peräsinten kääntymiskulma yleensä on rajattu ± 35 asteeseen on yhdeksi tarkastelusuureksi valittu keskimääräinen peräsimen käyttö väylässä. Kuvassa 6 on esitetty Kustaanmiekkan väylästä alue, jossa peräsimen käyttö ja sortokulma on laskettu tuloksista. Vastaava alue Särkän väylästä on esitetty kuvassa 8. Peräsinkulman lisäksi on leikkauksista analysoitu nopeuden ja suuntakulman hetkelliset arvot.

Peräsinkulman rekisteröidystä aikahistoriasta on laskettu kuinka suuren prosentuaalisen osuuden valitulla alueella peräsin on ollut yli 15 ja yli 25 astetta. Näistä ensimmäisen - 15 asteen - rajan runsas ylittäminen osoittaa normaalia hankalampaa tilannetta ja jälkimmäisen - 25 asteen - ylittäminen pienentää marginaalin olemattomiin.

4.4 Pohjakosketukset

Näissä simulaattoriajoissa, joissa tarkasteltiin lähinnä ja erityisesti ääriolosuhteita tapahtui pohjakosketuksia suhteessa enemmän kuin niitä on tapahtunut luonnossa. Pohjakosketusten lukumäärä on kuitenkin hyvä kriteeri vertailla eri väylävaihtoehtoja, laivoja ja ulkoisia olosuhteita toisiinsa. Pohjakosketuksista on lukumäärän lisäksi eri olosuhteissa selvitetty myös niiden tapahtumapaikka väylässä. Kustaanmiekkan väylässä kohtina on eritelty Kustaanmiekka, Vallisaari ja Iso Mustasaari.

4.5 Ohjaajien mielipiteet

Sen lisäksi että laivamallien liikkeet ja ohjauskomennot rekisteröitiin ja analysoitiin, tehtiin ohjaajille kyselyt, joissa tiedusteltiin heidän henkilökohtaista näkemystään suoritetuista ajoista ja väylistä. Kutakin ajokoskevassa kyselykaavakkeessa oli kunkin ajon jälkeen täytettävä vaihtoehtovalikko k.o. ajon olosuhteista. Päivän ajojen jälkeen oli arvioitavana ajetut väylät simulaattoriajojen perusteella. Ajokohtainen kyselykaavake on esitettynä kuvassa 11a ja väyläkohtainen kaavake kuvassa 11b.

SIMULAATTORIAN ARVIOINTI
UTVÄRDERING AV SIMULATORKÖRNING

Väylä/Farled

Laiva/Fartyg

Ohjaaja/Körare

Ajopäivämäärä/Datum

Ajon numero/ Körning nr:

1. Ajon ajamiseen tarvittiin taitoa/Skicklighet som behövdes:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

vähän/liten

paljon/mycket

2. Ajotehtävän monimutkaisuus/ Uppdragets komplexitet:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

helppo/lätt

vaikea/svår

3. Tarvittu tarkkaavaisuus/Uppmärksamhet som behövdes:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

alhainen/låg

suuri/hög

4. Kommentosillan instrumenttien tarkkailuaste/Utnyttjandegrad av brygginstrument

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

alhainen/låg

suuri/hög

5. Tehtävän vaikeusaste/Uppdragets svårighetsgrad:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

helppo/lätt

vaikea/svår

6. Laivan ohjattavuus oli/Fartygets manövrerbarhet var:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

huono/dålig

keskinkert./
medelmåttig

hyvä/bra

7. Miten vaativa tehtävä oli /Hur krävande var uppdraget:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

ei lainkaan/
inte alls

hyvin vaativa/
mycket krävande

8. Stressitaso/Stressnivå:

9. Miten kiirettä oli/Hur bråttom var det:

ei lainkaan / inte alls paljon / mycket

10. Tarvitun kokemuksen taso/Erfarenhet krävdes:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

vähän/liten

paljon/mycket

11. Työkuorman määrä: Arbetsbördan var

1 2 3 4 5
alhainen/låg suuri/hög

12. Päätösten tekoon jäänyt aika oli/Tid för beslutfattande:

1	2	3	4	5
liian pieni/ för liten		sopiva/ lämplig		ylli tarpeen/ mer än tillräcklig

13. Saaolosuhteet olivat/väderförhållandena var:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

helpot/lätta vaikeat/svåra

14. Lisähenkilöstön tarve komentosillalla/Behov av mera personal på bryggan:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

alhainen/låg

suuri/hög

15. Aluksen reagointi oli/Fartyget reagerade:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

nopea /snabbt hidas /långsamt

16. Aluksen turvallisuus ajon aikana/Fartygets säkerhet under körning:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

hyvä/bra
huono/dålig

VÄYLÄN ARVIOINTI SIMULAATTORIAJOJEN PERUSTEELLA
UTVÄRDERING AV FARLED BASERAD PÅ SIMULATORKÖRNINGARNA

Väylä/Farled:

Laiva/Fartvg:

Ohjaaja/Körare:

Koepäivämäärä/Datum:

1. Yleisvaikutelma väylän vaikeusasteesta tällä laivalla oli:
Generell svårighetsgrad av farled för detta fartvg:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

helppo/lätt

vaikea/svår

2. Tuuli vaikeutti väylän ajamista:
Vinden gjorde körningen svårara:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

ei lainkaan/inte alls

paljon / mycket

3. Käännökset vaikeuttivat väylän ajamista.
Girerna gjorde körningen svårara:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

ei lainkaan/inte alls

paljon / mycket

4. Reunavaikutukset vaikeuttivat väylän ajamista:
Bankeffekterna gjorde körningen svårara:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

ei lainkaan/inte alls

paljon / mycket

5. Väylän leveys oli:
Farleds bredd var:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

liian suuri/
för stor

sopiva/
lämplig

liian pieni/
för liten

6. Väylän linjojen merkintä oli:
Farleds linjemärke var:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

hyvä/bra

keskinkert./
medelmåttig

huono/dålig

7. Väylän reunamerkintä oli:
Farleds randmärke var:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

hyvä/bra

keskinkert./
medelmåttig

huono/dålig

8. Käännösten välinen etäisyys vaikeutti väylän ajamista:
Distans mellan girerna gjorde körningen svårara:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

ei lainkaan/inte alls

paljon / mycket

Lisäselvitykset kaantopuolelle/Tilläggsutredning på andra sidan:

Näiden kyselyjen tuloksista analysoitiin tarkemmin väylistä annetut arviot. Kysymykset koskivat yleisvaikutelmaa k.o. väylästä ajetuilla laivoilla, arvioita väylän leveydestä ja merkinnästä sekä tuulen, käännösten ja reunojen imuvaikutusten aiheuttamaa lisävaikeusastetta.

5. Tulokset

5.1 Yleistä

Kuten edellä todettiin tarkasteltiin eri väylien ja linjataulujen vaikutusta ajosuoritukseen käyttäen parametreinä tuulen vaikutusta, ajosuuntaa ja laivatyyppejä. Linjataulujen ja tuulen vaikutuksia selvitettiin sekä erikseen eri laivoille että kaikille yhteensä, jolloin analysoitavana oli suurempi määrä ajoja (21 - 39 kpl). Kaikkiaan analysoituja ajoryhmiä oli 26 ja ne on esitetty seuraavalla sivulla olevassa taulukossa. Analysoinnissa onnistuneet ja pohjakosketukseen päättäneet ajot käsiteltiin erikseen. Tässä simulointiajojen analysointi eroaa mallikoetelosten analysoinnista. Pohjakosketuksiin on ryhmäjaossa luettu sekä selvät ulosajot että n.k. "läheltä piti"-tilanteet, joihin on otettu kaikki ajot, joiden reunamarginaali on ollut pienempi kuin 5 metriä.

Niitä vaikutuksia mitä merkinnän parantamisella linjataulujen avulla on tuloksiin selvitettiin käsittelemällä kaikkien laivojen kaikki ajot ajosuunnittain yhtenä ryhmänä, ryhmät 1 ja 2 sekä 5 ja 6. Samoin tarkasteltiin linjataulujen merkitystä ajoihin joissa oli pohjakosketus, ryhmät 3 ja 4 sekä 7 ja 8. Särkän väylän tulokset jaettiin kahteen ryhmään, joista toisessa olivat onnistuneet, ryhmä 9 ja toisessa pohjakosketukseen päättäneet ajot, ryhmä 10. Särkän väylässä ajettiin vain 15 simulaattoriajoa ja niitä on tarkasteltu omana kokonaisuutena kappaleessa 5.7. Linjataulujen vaikutusta selvitettiin myös ottamalla käsittelyyn kaikkien laivojen osalta vain tuulen kanssa tehdyt ajot, ryhmät 11 - 16. Tähän tarkasteluun kuuluivat omana ryhmänään myös ilman tuulta tehdyt ajot. Laivakohtaisesti selvitettiin merkinnän vaikutusta ajosuunnittain, ryhmät 17 - 26. Näissä laivakohtaisissa ryhmissä analysoitiin ainoastaan tuulen kanssa tehdyt ajot.

Tulokset ajoryhmittäin on esitetty tutkimuselostuksen lopussa laivan painopisteen liikeratoina kuvissa A4 - A29. Taulukoissa 2 - 27 on esitetty leikkauksittain nopeus, suuntakulma ja ajokaistan leveydet, sekä reunamarginaalit, peräsimen käyttö ja sortokulma.

Analysoidut ajoryhmät ja niiden parametrit

Ryhmä n:o	Laiva	Väylä	Uusi linja- merkintä	Ajo- suunta	Olosuhteet
1	kaikki	Kustaanm.	ei	sisään	ajot ilman pohjakosk.
2	kaikki	Kustaanm.	kyllä	sisään	ajot ilman pohjakosk.
3	kaikki	Kustaanm.	ei	sisään	pohjakosk. ajot
4	kaikki	Kustaanm.	kyllä	sisään	pohjakosk. ajot
5	kaikki	Kustaanm.	ei	ulos	ajot ilman pohjakosk.
6	kaikki	Kustaanm.	kyllä	ulos	ajot ilman pohjakosk.
7	kaikki	Kustaanm.	ei	ulos	pohjakosk. ajot
8	kaikki	Kustaanm.	kyllä	ulos	pohjakosk. ajot
9	lautta & roro	Särkkä.	ei	sisään	ajot ilman pohjakosk.
10	lautta & roro	Särkkä.	ei	sisään	pohjakosk. ajot
11	kaikki	Kustaanm.	ei	sisään	tuuli 17-20 m/s, ei pkosk.
12	kaikki	Kustaanm.	kyllä	sisään	tuuli 15-20 m/s, ei pkosk.
13	kaikki	Kustaanm.	ei	ulos	tuuli 13-20 m/s, ei pkosk.
14	kaikki	Kustaanm.	kyllä	ulos	tuuli 13-20 m/s, ei pkosk.
15	kaikki	Kustaanm.	ei/kyllä	sisään	ei tuulta, ei pohjakosk.
16	kaikki	Kustaanm.	ei/kyllä	ulos	ei tuulta, ei pohjakosk.
17	nykylautta	Kustaanm.	ei/kyllä	sisään	tuuli 15-20 m/s, ei pkosk.
18	nykylautta	Kustaanm.	ei/kyllä	ulos	tuuli 13-20 m/s, ei pkosk.
19	roro	Kustaanm.	ei	sisään	tuuli 17-20 m/s, ei pkosk.
20	roro	Kustaanm.	kyllä	sisään	tuuli 15-20 m/s, ei pkosk.
21	roro	Kustaanm.	ei	ulos	tuuli 13-20 m/s, ei pkosk.
22	roro	Kustaanm.	kyllä	ulos	tuuli 13-15 m/s, ei pkosk.
23	lautta	Kustaanm.	ei	sisään	tuuli 17-20 m/s, ei pkosk.
24	lautta	Kustaanm.	kyllä	sisään	tuuli 15-20 m/s, ei pkosk.
25	lautta	Kustaanm.	ei	ulos	tuuli 13-20 m/s, ei pkosk.
26	lautta	Kustaanm.	kyllä	ulos	tuuli 13-20 m/s, ei pkosk.

5.2 Väylätilan käyttö

Laivan ajokaistan leveys lähestymisajossa on tuulen kanssa keskimäärin 1.2 kertaa aluksen leveys (taulukot 12, 13, 14 ja 15). Väyläleikkauksessa 4 Vallisaaren kohdalla on käännös on jo aloitettu ja laivan keskimääräinen ajokaista on 1.4 kertaa leveys. Ilman tuulta ajokaistan leveys lähestymisajossa on noin laivan leveyden suuruinen.

Jos tarkastellaan kaikkien laivojen yhteisistä tuloksista väylätilan käyttöä ilman linjatauluja ja niiden kanssa sellaisissa ajoissa, joissa tuuli oli vaikuttamassa (taulukot 12, 13, 14 ja 15), niin tulokset erottuvat selvimmin Kustaanmiekkan lähestymisajon osalta. Sisäänpäin ajettaessa ajokaistan leveydet ensimmäisessä leikkauksessa ovat $W_{68} = 127$ m ja $W_{95} = 220$ m ilman linjatauluja ja $W_{68} = 101$ m ja $W_{95} = 168$ m niiden kanssa. (W_{68} = ryhmän ajokaistan leveys, jonka sisällä on 68% ajoista, W_{95} = ryhmän ajokaistan leveys, jonka sisällä on 95% ajoista) Ajosuunnan ollessa ulospäin ovat vastaavat tulokset $W_{68} = 104$ m ja $W_{95} = 175$ m ilman linjatauluja ja $W_{68} = 75$ m ja $W_{95} = 114$ m niiden kanssa.

Kapeimmillaan eli Kustaanmiekkan kohdalla olevassa leikkauksessa molempien lauttojen tulokset ovat yhteneväiset väylätilan leveydessä suhteessa aluksen leveyteen eli $W_{68} = 1.7B$ ja $W_{95} = 2.4B$. Linjataulujen vaikutukset eivät ole merkittäviä uuden lautan ajoissa.

Roron väylätilan käyttö (ryhmät 19, 20, 21 ja 22) on lähestymisajossa (leikkaukset 2 ja 3) ja ajosuunnan ollessa sisäänpäin suurempi kuin kahden muun aluksen sekä suhteellisesti että absoluuttisesti. Väylätilan suhteelliset leveydet kuten yllä olivat $W_{68} = 2.3B$ ja $W_{95} = 3.4B$. Absoluuttisesti oli aluskohtainen, käytetty väylätila Kustaanmiekkan kohdalla:

Väylätila W_{95} laivakohtaisesti Kustaanmiekassa (leikkaus 3)

nykylautta	roro	lautta
57 m	97 m	75 m

Laivatyyppien tuloksista roron tulokset olivat ainoat, joissa linjataulujen vaikutus oli selvästi havaittavissa väylätilan käytössä. Väylätilan leveydet (W_{95}) eri leikkauksissa olivat:

Väylätila W_{95} - Roro

leikkaus	1	2	3	4
ilman linjat.	249. m	156. m	101. m	93. m
linjat. kanssa	175. m	130. m	92. m	89. m

Väylätilan käytöstä voidaan huomata, että kaikilla aluksilla ryhmän käännöksessä tarvitsema väylätila on noin 90 metriä.

Myös reunamarginaaleissa oli vain roron tuloksissa havaittavissa linjataulujen vaikutusta Kustaanmiekan kohdalla. Ilman linjatauluja laivan keskimääräinen marginaali oli 49 m ja vastaavasti linjataulujen kanssa 63 m. Vallisaaren kohdalla roron reunamarginaalit ovat samansuuruisia sekä linjataulujen kanssa että ilman niitä tehdyissä ajoissa. Lautan tuloksissa linjatauluilla on lievästi reunamarginaalia pienentävä vaikutus.

5.3 Ohjaus- ja liiketilasuureet

S-mutkan jälkimmäinen käännös sisäänpäin ajettaessa on loivin nykylautalla ja jyrkin lautalla ilman linjatauluja ajetuissa ajoissa:

Käännöksen suuruus Kustaanmiekassa laivakohtaisesti

laiva	nykylautta	roro	lautta
ilman linjat.	14.0 °	21.9 °	28.7 °
linjat. kanssa	"	26.3 °	20.5 °

Keskimäärin käännös on lisäksi tehty myöhemmin rorolla kuin kummallakaan lautalla, mihin ilmeisesti vaikuttaa komentosillan sijainti lautoissa keulassa ja rorossa keskilaivan peräpuolella. Laivan sortokulma tuulessa oli lähestymisajossa nykylautalla noin 2.4, rorolla 3.8 ja lautalla 4.0 astetta.

Tuulella oli huomattava peräsinkulmia kasvattanut vaikutus.

Peräsimen käyttö, kaikki laivat

			tuuli	ei tuulta
sisään	ei linjatauluja	>15 astetta	56%	30%
	& linjataulut	>25 astetta	37%	12%
ulos	ei linjatauluja	>15 astetta	51%	31%
	linjataulut	"	44%	
ulos	ei linjatauluja	>25 astetta	31%	9%
	linjataulut	"	24%	

Yllä esitettyjen tulosten perusteella käännös salmessa on vaikea ajaa tuulella. Sisäänpäin ajettaessa on jouduttu käyttämään yli 25 asteen peräsinkulmia 37 prosenttia ajasta. Ajosuunnan ollessa ulospäin on vastaava osuus ilman linjatauluja 31 prosenttia. Ilman tuulta peräsinkulma oli yli 25 astetta vain sisäänpäin ja tällöin 12 prosenttia ajasta. Nämä tulokset kuvastavat turvallisuusmarginaalien pienenemistä tuulen vaikutuksesta. Lautalla ja rorolla peräsimen käyttö on samansuuruista sensijaan nykylautan ajot tehtiin hieman pienemmillä peräsinkulmilla.

Linjatauluilla oli suurin vaikutus lähestymisajojen suuntakulmien ja ajolinjan hajonnoissa. Salmen kapeimmassa kohdassa ei hajonnoissa ollut huomionarvoisia eroja. Lisäksi on huomattava, että lähestymisajossa ilman tuulta tehtyjen ajojen hajonnat olivat suurinpiirtein samansuuruiset kuin linjataulujen kanssa tehtyjen ajojen hajonnat.

5.4 Pohjakosketukset

Pohjakosketuksia esiintyi simulaattoriajoissa vähemmän kuin mallikoeajoissa. Pohjakosketuksia tarkasteltaessa on käsitelty erikseen sekä varsinaiset pohjakosketukset että hyvin läheltä rantaa menneet ajot nk. "läheltä piti"- tilanteet.

Kaikki tulokset pohjakosketustarkasteluista eri olosuhteissa on esitetty taulukoissa 28a, 28b, 29a ja 29b. Taulukossa 28 on esitetty sekä "läheltä piti"- tilanteet että varsinaiset pohjakosketukset. Taulukko 29 käsittää vain varsinaiset pohjakosketukset. Molemmissa taulukoissa on eritelty ajot Kustaanmiekassa ilman linjatauluja ja niiden kanssa. Pohjakos-

ketuksista on lukumäärän lisäksi eri olosuhteissa selvitetty myös sen tapahtumapaikka väylässä. Kustaanmiekkan väylässä kohtina on eritelty Kustaanmiekka, Vallisaari ja Iso Mustasaari. Särkän väylän pohjakosketusajoja oli vain neljä kappaletta ja niiden liikeradat on esitetty kuvassa A13.

Seuraavassa pohjakosketusten lukumääriä tarkasteltaessa on huomioitu vain selvät pohjakosketukset. Yksi ero pohjakosketusajojen ja onnistuneiden ajojen välillä sisäänpäin ajettaessa on ajojen keskimääräisessä nopeudessa Kustaanmiekkan (leikkaus 3) ja Vallisaaren (leikkaus 4) kohdalla. Pohjakosketukseen päätyneissä ajoissa nopeudet ovat olleet keskimäärin noin 13.1 solmua eli 2.3 solmua suuremmat kuin onnistuneissa ajoissa näissä samoissa leikkauksissa. Tämä parikymmentä prosenttia suurempi nopeus merkitsee huomattavaa väylän reunojen imuvaikutusten kasvua käytettäessä samaa ohitusetäisyyttä rantaviivasta.

Suuremman ajonopeuden lisäksi voidaan löytää myös muita pohjakosketusten syitä tarkastelemalla kuvissa A6, A7, A10 ja A11 esitettyjä, ainoastaan pohjakosketusajot käsittäviä, laivojen liikeratoja. Laivojen liikeratojen hajonta lähestymisajoissa Kustaanmiekkaan on suuurempi pohjakosketukseen päätyneissä ajoissa kuin onnistuneissa, läpimenneissä ajoissa.

Ajettaessa sisäänpäin oli nopeus Kustaanmiekkan kohdalla keskimäärin 10.5 solmua onnistuneissa ajoissa ja noin 13 solmua pohjakosketukseen päätyneissä ajoissa. Ulospäin ajettaessa vastaavat nopeudet olivat 10.2 ja 11 solmua. Nopeudella on siis huomattava ajon vaikeusastetta kasvattava vaikutus. Varsinaista nopeusrajaa ei tällä ajomäärällä kuitenkaan voi vielä osoittaa.

Lähestymisajoissa hajonta oli pohjakosketusajoissa suurempi sekä aluksen liikeradoissa että suunnassa.

Ilman tuulta ei ollut kuin kaksi pohjakosketusta, joiden molempien syynä voidaan pitää (liian) suurta nopeutta salmessa eli 14.1 ja 14.5 solmua. Kaikista niistä ajoista, joissa tuuli oli 13 - 20 m/s on pohjakosketusten määrä 15 %. Ajosuunnalla ei ollut vaikutusta pohjakosketusten määrään ilman linjatauluja tehdyissä ajoissa. Nykylautan pohjakosketusten lukumäärään on luultavasti vaikuttanut lisäävästi se, että totuttautumisa-

jot sekä simulaattoriin että tuuliolosuhteisiin tehtiin tällä pienimmällä ja tutuimmalla aluksella. Roron ajoissa sattui lievästi enemmän pohjakosketuksia kuin lautan ajoissa. Lautan ajoissa pohjakosketuksia ei ollut alle 23 m/s tuulessa lainkaan linjataulujen kanssa. Tämä pohjakosketusten lukumäärän väheneminen johtuu ilmeisesti parantuneen paikannustarkkuuden lisäksi myös ohjaajien oppimisprosessista, sillä ajot linjataulujen kanssa tehtiin viimeisinä. Kaikista tuulen kanssa tehdyistä ajoista linjatauluilla oli pohjakosketusten määrää pienentävä vaikutus $23\% \Rightarrow 11\%$. Ajosuuntaakohtaisesti tämä pohjakosketusten määrän väheneminen keskittyi ulospäin tehtyihin ajoihin.

5.5 Ohjaajien mielipiteet

Ohjaajien arviotavana oli päivän simulaattoriajojen ajojen jälkeen väylä suhteessa käytettyihin laivoihin. Kysymykset koskivat yleisvaikutelmaa k.o. väylästä ajetuilla laivoilla, arvioita väylän leveydestä ja merkinnästä sekä tuulen, käännösten ja reunojen imuvaikutusten aiheuttamaa lisävaikeusastetta. Tästä kyselystä analysoitiin vastaukset ryhminä, joissa käsiteltiin lauttaa ja roro-alusta molemmissa Kustaanmiekkan väyläversioissa sekä nykylauttaa Kustaanmiekassa nykyisellään ja kaikkia kolmea alusta yhtenä ryhmänä Särkän salmen väylässä. Kyselyn tulokset on esitetty taulukoissa 30 - 35. Vastausten skaala yhdestä viiteen oli määriteltä siten, että alhainen pistemäärä vastaa positiivista ja korkea vuorostaan negatiivista kannanottoa.

Kyselyn vastausten määrät olivat tilastollisina otoksina pienet, 5 - 10 kappaletta ryhmässä, mutta vastaukset olivat huomattavan yksimielisiä. Tämä yksimielisyys käy ilmi tulosten yhteydessä esitetyistä yksittäisten vastausten hajonnoista. Myös ohjaajien vastaukset heidän väylästä saamaansa yleisvaikutelmaa koskeneeseen kysymykseen olivat sopusoinnussa kaikkien kysymysten vastausten keskiarvoista laskettujen ryhmiä koskeneiden keskiarvojen kanssa (0.3 pisteen marginaalilla).

Yleisvaikutelma väylän vaikeusasteesta k.o. laivalle vaihteli kohtalaisen vaikeasta (4.2) keskinkertaiseen (2.9). Versioiden järjestys helpoimmasta vaikeimpaan tässä arvioinnissa oli: nykylautta/Kustaanmiekka (2.9), roro/Kustaanmiekka + linjataulut (3.1), lautta/Kustaanmiekka + linjataulut (3.2), lautta/Kustaanmiekka (3.6), kaikki laivat/Särkkä (3.7) ja roro/Kustaanmiekka (4.2).

Sekä lautan että roro:n osalta ohjaajista tuntui Kustaanmiekan väylä tuulen vaikuttaessa helpommalta linjatauluilla varustetussa versiossa kuin ilman niitä (ajamisen vaikeutumisaste: lautta 4.0/4.4 ja roro 4.1/4.8). Toisaalta myös nykylautan ajamisen vaikeutuminen tuulella koettiin olevan samalla tasolla (4.1).

Autolauttapäällystön arvioista käy myös ilmi, että he käyttävät vähemmän visuaalista, näkyvää, informaatiota laivan ajamiseen. Luotsit ja lastilauttojen päällystö oli nimittäin sitä mieltä, että käännökset, reunavaikutukset ja väylän leveys tuntuivat lievästi helpommilta linjataulujen avulla kuin ilman niitä. Sensijaan lautan ajoja koskevissa vastauksissa näitä eroja ei ole.

Kustaanmiekan linjojen merkintää koskevaan kysymykseen samat vastaajat antoivat uudelle linjamerkinnälle lähes yksimielisesti hyvän arvosanan (1.6) verrattuna nykyiseen tilanteeseen, joka arvioitiin keskinkertaista hieman huonommaksi (3.4).

Väylän leveydestä vastaajat olivat sitä mieltä, että se on liian pieni tai pienempi kuin sopiva uusille, isoille, aluksille. Roro:n osalta ohjaajista tuntui Kustaanmiekan väylän leveys linjatauluilla varustetussa versiossa sopivammalta kuin ilman niitä (väylän leveys: lautta 4.2/4.2 ja roro 4.1/4.7). Ainoastaan nykylautalle väylän leveys koettiin joko sopivaksi tai miltei sopivaksi (keskiarvo 3.6).

Kaikissa edellä esitetyissä erilaisiin henkilökohtaisiin näkemyksiin perustuvissa arvioinneissa Kustaanmiekan väylä todettiin keskinkertaista selvästi vaikeammaksi isoille aluksille. Tämä kyselytekniikalla saatu tulos on yhdenmukainen niiden tulosten kanssa, joihin päädyttiin simulaattoriajoja analysoimalla.

5.6 Kaksi esimerkkiajoa Kustaanmiekassa

Seuraavassa on lähemmin tarkasteltu niitä kahta pohjakosketukseen päättynyttä ajoa, jotka sattuivat ilman tuulta tehdyissä ajoissa. Nämä esimerkit kuvaavat hyvin niitä vaikeuksia, joita väylässä on.

1)

Laiva roro. Lähestytty 7.5-8 solmun nopeudella, kun leikkauksen 1 kohdalla 600 m ennen salmea muutettu koneasetusta täydet eteen. Seurauksena nopeus noussut 14.1 solmuun Vallisaaren kohdalla, jossa sivuutusetäisyys ollut noin yksi laivan leveys. Imun vaikutuksesta kehittynyt kääntymisnopeus noussut 0.46 ast/sek. Koska täydet tehot jo käytössä ei ollut edes mahdollista kasvattaa peräsinvoimaa ja täydet 35 astetta ei estänyt ajon päättymistä Ison Mustasaaren rantaan.

2)

Laiva lautta. Nopeuskokeiluna tehty ajo. Lähestytty 13.5 solmun nopeudella ja salmeen tultaessa nopeus ollut 14.5 solmua. Vallisaaren ohitusetäisyys ollut noin yksi laivan leveys. Keulan ollessa Vallisaaren kohdalla suunta 6.0 ast, kulmanopeutta 0.12 ast/sek vasemmalle. Käytetty peräsinkulma 35 astetta, joka annettu samassa kohdassa. Laiva ei kääntynyt ja pohjakosketus Ison Mustasaaren rannassa.

5.7

Särkän väylän tulokset

Simulaattoriajoissa koeolosuhteet olivat lähempänä todellista käytäntöä ja niillä pyrittiin siis selvittämään Särkän salmen väylän osalta onko se todellinen vaihtoehto Kustaanmiekalle. Näissä kokeissa Särkän väylä ajettiin kokonaan Suomenlinnan edustalta Kruunuvuoren selälle. Analysoinnissa kiinnittiin erityistä huomiota käännöksiin tultaessa Särkänsalmeen tai lähdettäessä sivuuttamaan Katajanokkaa ja käytettävään tilannenopeuteen Katajanokan puoleisessa päässä Finnjetin peräporttipaikkaa ja risteilijälaituria ohitettaessa.

Ajettaessa Särkän salmeen sisään on väylässä 44 asteen suunnanmuutos. Kovalla tuulella tällaisen suunnanmuutoksen suorittaminen on hankalaa, jos käännöksen on päätyttävä tarkasti kapeikkoon. Simulaattoriajoissa ei tämä väyläkohta tuottanut suurempia hankaluuksia ilmeisesti sen vuoksi, että käännöksen suorittamiseen on kunnolla tilaa ja se voidaan lopettaa jo hieman ennen kapeikkoa.

Särkän väylässä tehtiin kaikkiaan 15 ajoa, 14 sisään ja yksi ulos. Tuulen vaikutuksen kanssa suoritettiin 9 ajoa, tuulen nopeuden ollessa suurimmassa osassa 15 m/s. Pohjakosketuksia tapahtui vain tuulen kanssa neljässä ajossa, joista kolmessa törmättiin Katajanokan laituriin.

Saavuttaessa Katajanokan käännökseen (leikkaus 17) oli kaikissa onnistuneissa ajoissa keskimääräinen nopeus 8.7 solmua (10 kpl) ja vastaavasti pohjakosketusajoissa 10.1 solmua (3 kpl). Keskimääräinen peräsinkulma samassa leikkauksessa eli jo käännöksen alussa oli onnistuneissa ajoissa 28 astetta ja pohjakosketukseen päättyneissä ajoissa 35 astetta. Sekä käytetty tilannenopeus, joka on selvästi suurempi kuin mikä olisi risteilijälaituria ohitettaessa suotavaa, että käytetyt suuret peräsinkulmat osoittavat tutkitun väyläversion hankaluutta. Tähän viittaa myös pohjakosketusten määrä - neljä neljästätoista ajosta.

6. Tulosten arviointi

6.1 Kapean väylän hydrodynamiikasta

Laivan ajaessa yhdensuuntaisesti kanavamaisen väylän reunan lähellä syntyy laivan ympärille muodostuneesta virtauskentästä seuraavat reunavaikutukset:

- kääntävä momentti, joka pyrkii kääntämään aluksen keulan kohti kanavan/väylän keskilinjaa pois reunasta
- imuvoima, joka kohdistuu reunaa päin. Liike kohti väylän reunaa yhdistettynä nopeuteen eteenpäin puolestaan muodostaa sortokulman poispäin reunasta, mikä lisää pyrkimystä kääntää keulaa väylän keskelle.

Kulkeakseen suoralla kurssilla on laivan peräsimen oltava käännettynä kohti väylän reunaa kompensoimaan kääntymispyrkimystä keskelle ja aluksella on pieni sortokulma kohti väylän keskiviivaa tasapainottamassa reunan imuvoimaa.

Suureet, jotka vaikuttavat imuvaikutusten voimakkuuteen, ovat laivan nopeus, etäisyys reunasta ja veden syvyys. Laivan nopeuden vaikutus on suurempi kuin neliöllinen, etäisyys reunasta puolestaan kaksinkertaistaa momentin reunamarginaalin pienentyessä laivan leveydestä puoleen. Syväyden vaikutus ei ole niin selvä, sillä väylän madaltuessa reunavaikutukset kasvavat mutta myös laivan hitaus kasvaa, mikä vaimentaa imuvaikutusten ilmenemistä.

Aluskokoa kasvatettaessa eivät merkittäviä muutoksia ole ainoastaan lisämetrit leveydessä, pituudessa tai syväydessä vaan myös niiden yhteisvaikutus uppouman ja tuulipinnan kasvattamisessa. Erityisesti tuulipinnan kasvaminen suhteessa vedenalaiseen lateraalipintaan (pituus x syväys) vaikeuttaa ohjailua. Pyrittäessä sivutuulten vaikuttaessa ajamaan suoraa kurssia kasvaa tällöin sekä tasapainosortokulma että tarvittava peräsinkulma. Kustaanmiekassa

kasvaneet tuulipinnat merkitsevät myös saarten katvevaikutusten pienenemistä yhä suuremman osan laivasta ylettyessä korkeammalle kuin ympäröivät saaret. Aluksen päämittasuhteilla, pituus/syväys ja leveys/syväys, on myös vaikutusta tasapainosortokulman suuruuteen. Suhteessa leveämmällä aluksella sortokulma on yleensä suurempi. Huomattava merkitys on myös peräsinten tehokkuudella sekä aluksen navigointilaitteiden tasolla (tutkat, autopilotit ja käytettävissä olevat elektroniset paikannusjärjestelmät jne).

6.2 Kustaanmiekka väylänä

Karakteristisena piirteenä Kustaanmiekan kautta kulkevassa väylässä on sen kapeus ja siitä johtuvat väylän reunojen imuvaikutukset ja erityisesti näiden imuvaikutusten pitkittäinen epäsymmetria. Kustaanmiekan, Vallisaaren ja Ison Mustasaaren sijoittuminen väylän reunaan vuorotellen aiheuttaa imuvaikutukset vuorotellen vasemmalta ja oikealta. Näiden kolmen saaren sijainti toisiinsa nähden estää väylän suoran linjauksen ja lisäksi niiden pitkittäinen etäisyys on sellainen, että edellisen saaren vaikutus kääntää alusta kohti seuraavaa (Kustaanmiekka kohti Vallisaarta ja Vallisaari Isoa Mustasaarta). Kapeikko, joka muodostuu kahdesta symmetrisesti väylän molemmilla puolilla olevasta saaresta ei ole läheskään yhtä hankala kuin Kustaanmiekka. Näitä imuvaikutuksia korostaa vielä ulkoisista olosuhteista hankalimmat eli kovat tuulet, jotka edellyttävät ajonopeuden kasvattamista laivan ohjattavuusmarginaalien säilyttämiseksi ja sortokulman pienentämiseksi. Kustaanmiekan mallikoesarjan perusteella esimerkiksi 15 m/s puhaltavassa tuulella 7 solmua on liian alhainen nopeus.

Kustaanmiekan väylä on kapeimmillaan eli suorassa linjauksessa (suunta 17 astetta) vain 80 metriä tai käytettäessä s-mutkaa seuraavaa linjausta noin 110 metriä leveä. Alukselle, jonka leveys on 30 m, on väylän leveys vastaavasti 2.7 tai 3.7 kertaa aluksen leveys. Väylän kapean osan pituus Kustaanmiekan eteläkärjestä Ison Mustasaaren luoteiskärkeen on noin 800 metriä, minkä ajaminen kestää noin kaksi minuuttia. Turvallinen läpiajo kovissa tuulissa vaatii suurta paikannustarkkuutta aluksen pitämiseksi väylän keskellä itse salmessa ja sitä lähestyttäessä. Käytännössä pidentyy tarkkaa paikannusta vaativa

Kustaanmiekan salmen väyläosuus pituudeltaan kaksinkertaiseksi ja ylikin salmen fyysisen pituuden. Hyvä paikannustarkkuus saavutetaan suurten alusten ollessa kyseessä huolellisella lähestymisajolla, jolloin Kustaanmiekan läpiajo alkaa jo Harmajan tasolta, jotta sekä suunta että nopeus olisivat oikeat salmeen saavuttaessa.

Ajojen liikeradoissa oli sekä malli- että simulaattorikokeissa Vallisaaren kohdalla selvä mutka. Aluskoolla oli simulaattoriajoissa selvä vaikutus tehdyn mutkan suuruuteen. Roro ja uudisrakennuslautta, pituudeltaan 200 metrisinä aluksina, tekivät 21 - 29 asteen suuruisen mutkan kun nykylautta selvisi keskimäärin 14 asteen suunnanmuutoksella. Simulaattoriajoissa käytetyssä referenssiajolinjassa oli 25 asteen suunnanmuutos Vallisaaren kohdalla.

Salmen läpi ajettaessa tarvittavaa paikannustarkkuutta määritettäessä voidaan käyttää hyväksi kokeissa saatuja tuloksia minimimarginaaleista. Minimimarginaalit ovat seurausta reunojen imuvaikutuksista. Onnistuneissa simulaattoriajoissa nämä marginaalit olivat keskimäärin 5 m Kustaanmiekan kohdalla ja 15 m Vallisaaren kohdalla. Vastaava tulos mallikokeista jälkimmäisessä paikassa oli 25 m. Seuraavassa tarkastelussa on käytetty minimireunamarginaalina 15 metriä eli suurten alusten puolileveyttä. Jos otetaan esimerkkilaiivan leveydeksi 32 m, jolloin ajokaistan leveys on keskimäärin 1.2 kertaa leveys eli 38 m ja oletetaan aluksen pyrkivän ajamaan väylää s-mutkan mukaisella ajolinjauksella, jolloin väylällä on käytettävissä leveyttä 110 m, niin tarvittavaksi paikannustarkkuudeksi saadaan:

$$110\text{m} - 2 \times 15\text{m} - 38\text{m} = 42\text{m}$$

(väylän leveys - 2 x reunamarginaali - laivan ajokaistan leveys).

Laiva on siis ohjattava salmen läpi "paikannusputkessa", jossa pysymiseen tarvittava marginaali on ± 21 metriä.

Kustaanmiekan väylässä esiintyi mallikokeissa pohjakosketuksia odottamattoman paljon verrattuna siihen mitä pohjakosketuksia on tapahtunut luonnossa. Simulaattoriajoissa pohjakosketuksia oli vastaavissa tuuliolosuhteissa noin puolta vähemmän. Pohjakosketusten määrää voidaan olettaa mallikokeessa kasvattaneen ohjaamisen vaikeutuminen mallimittakaavassa nopeutuneen aikaskaalan ja

poikkeavan perspektiivin vuoksi, mihin viittaisi pohjakosketusten esiintyminen myös hitaimmalla nopeudella ilman tuulta. Samansuuntainen on myös simulaattoriajoista saatu tulos, että ilman tuulta ja käytettäessä salmessa alle 14 solmun nopeutta ei ollut yhtään pohjakosketusta. Simulaattoriajoissa oli tuulen vaikuttaessa tehdyissä ajoissa "läheltä piti" - tilanteita noin 60 % pohjakosketusten määrästä.

Todellisuudessa tapahtuneiden onnettomuuksien vähyyttä verrattuna näihin koetuloksiin voidaan myös selittää sillä, että ensinnäkin kokeiden tuuliolosuhteet esiintyvät hyvin harvoin ja toiseksi nykyiset alukset ovat keskimäärin pienempiä kuin sekä mallikokeen että simulaattori- ajojen alukset. Ilmatieteen laitoksen tilastitiikan mukaan yli 15 m/s puhaltavien tuulten osuus Helsingin edustan merialueella on noin 1.4 prosenttia kaikista havainnoista vastaten yhtenäisenä ajanjaksona vuotta kohti viittä vuorokautta. Harvoin on todellisuudessa esiintynyt tilanteita, joissa hyvin kovan tuulen vallitessa huomattavan suuri alus olisi ajanut Kustaanmiekkan läpi. Kokeiden tulokset saattavat viitata siihen, että laivakoon kasvaessa nykyistä suuremmaksi kasvaa myös riski usean eri osatekijän yhteisvaikutuksesta jyrkästi. Näiden koetulosten perusteella ei kuitenkaan voida tarkasti osoittaa aluskoon tai tuulen nopeuden ylärajaa Kustaanmiekassa turvallisen läpiajon kannalta.

Simulaattoriajoista saatavat lisähuomiot

Simulaattoriajoissa ei sattunut yhtään pohjakosketusta sellaisissa alle 14 solmun nopeudella tehdyissä ajoissa, joissa tuuli ei ollut häiriötekijänä.

Väylä on vaikea hankalissa ulkoisissa olosuhteissa. Erityisesti tämä koskee uusia, suuria aluksia, joiden käyttäytymisestä laivan ohjaajilla ei vielä ole kokemusta.

Tuulen vaikutus häiriötekijänä on selvä tuulen nopeuden ollessa suurempi kuin 15 m/s. Pohjakosketuksia esiintyi vain tuulen kanssa ja niiden suhteellinen lukumäärä pieneni mallikokeeseen verrattuna. Varsinaisten pohjakosketusten lisäksi selvitettiin nk. "läheltä piti" - tilanteiden lukumäärä, joka simulointi- ajoissa oli noin 60 % pohjakosketuksista.

Simulaattoriajoissa oli mukana myös ajosuunta satamasta ulospäin. Ajosuuntana ulospäin osoittautui hankalammaksi kuin ajo satamaan päin. Tämä johtunee Kruunuvuoren selän jälkeen olevasta suuresta mutkasta ja sen jälkeisestä hyvin lyhyestä suorasta ennen Kustaanmiekkan salmea. Tämä lähestymisajo nopeuden kiihdyttämiseen on vaikeampi kuin sisääntullessa Harmajalle saakka ulottuva pidempi vastaava osuus. Toisaalta ulospäin ajettaessa on alue ennen salmea suojaisa ja tuuliolosuhteet helpommat kuin ulkona.

Linjataulujen lisäämisellä oli positiivinen vaikutus simulaattoriajojen tuloksissa selvimmin pohjakosketusten määrän lievänä vähenemisenä. Sen lisäksi ohjaajien henkilökohtainen mielipide oli yksimielisesti, että linjataulujen lisääminen on hyvä asia.

Suuret alukset (pituus noin 200 m) pystyvät liikennöimään Kustaanmiekasta (niitähän kulkee nykyäänkin silloin tällöin), mutta matkustaja-autolauttojen ja Roro-alusten ollessa kyseessä merkitsee pituuden kasvu myös tuulipintojen kasvua. Kovalla tuulella tällaisen aluksen ohjaamisessa Kustaanmiekkan läpi vaaditaan erittäin suurta tarkkuutta.

6.3 Särkäsalmi väylänä

Särkän salmen kautta kulkevaa väylää voidaan ajaa kahdella tavalla Eteläsatamaan. Paremmissa ulkoisissa olosuhteissa alus voidaan pysäyttää Katajanokan puoleisessa päässä ja kääntää paikallaan kohti satama-allasta. Kovan tuulen vallitessa ei autolauttaa, jolla on suuri poikittainen tuulipinta ja siihen verrattuna pieni vedenalainen lateraalipinta, voida sortuman vuoksi pysäyttää. Tällöin on ajettava vauhdilla ohi Katajanokan Kruunuvuoren selälle ja siellä tehtävän lenkin jälkeen ajetaan normaalia lähestymisväylää käyttäen Eteläsataman satama-altaaseen. Tämä olisi väylän ajotapa myös Sompasaareen mentäessä. Ajonopeutta Katajanokan sivuitse rajoittaa käännöksen jyrkkyys, väylän leveys käännöksessä ja lisäksi risteilijälaituriin kiinnittyneet alukset, joiden kiinnitysköydet joutuvat alttiiksi imuvaikutusten aiheuttamille rasituksille suurella nopeudella tapahtuvien ohitusten yhteydessä. Hyvää merimiestaitoa noudattaen ohitusnopeudet olisivat korkeintaan 4 - 5 solmua.

Mallikokeissa Särkän väylää ajettiin kuten normaalia väylää käyttäen samoja nopeuksia kuin Kustaanmiekkan mallissa ottamatta huomioon Katajanokan kärjen vaatimaa vauhdin hiljennystä ja käännöstä. Mallikokeiden tuloksista tuli selvästi esille väylän leveyden merkitys reunamarginaalien kasvattamisessa. Särkkä-vaihtoehto oli tästä johtuen hyvä verrattuna Kustaanmiekkan vaihtoehtoihin esimerkiksi pohjakosketusten lukumäärän suhteen. Väylän realistinen ajonopeus ei ollut selvitettävissä käytettävissä olleen mallin avulla, sillä väylämalli ei jatkunut Katajanokan sivuitse.

Simulaattoriajoissa koeolosuhteet olivat lähempänä todellista käytäntöä ja niillä pyrittiin siis selvittämään Särkän salmen väylän osalta onko se todellinen vaihtoehto Kustaanmiekalle. Näissä kokeissa Särkän väylä ajettiin kokonaan Suomenlinnan edustalta Kruunuvuoren selälle. Analysoinnissa kiinnittiin erityistä huomiota käännöksiin tultaessa Särkänsalmeen tai lähdettäessä sivuuttamaan Katajanokkaa ja käytettävään tilannenopeuteen Katajanokan puoleisessa päässä Finnjetin peräporttipaikkaa ja risteilijälaituria ohitettaessa.

Ajettaessa Särkän salmeen sisään on väylässä 44 asteen suunnanmuutos. Kovalla tuulella tällaisen suunnanmuutoksen suorittaminen on hankalaa, jos käännöksen on päätyttävä tarkasti kapeikkoon. Simulaattoriajoissa ei tämä väyläkohta tuottanut suurempia hankaluuksia ilmeisesti sen vuoksi, että käännöksen suorittamiseen on kunnolla tilaa ja se voidaan lopettaa jo hieman ennen kapeikkoa.

Särkän väylässä tehtiin kaikkiaan 15 ajoa, 14 sisään ja yksi ulos. Tuulen vaikutuksen kanssa suoritettiin 9 ajoa, tuulen nopeuden ollessa suurimmassa osassa 15 m/s. Pohjakosketuksia tapahtui vain tuulen kanssa neljässä ajossa, joista kolmessa törmättiin Katajanokan laituriin. Saavuttaessa Katajanokan käännökseen (leikkaus 17) oli kaikissa onnistuneissa ajoissa keskimääräinen nopeus 8.7 solmua (10 kpl) ja vastaavasti pohjakosketusajoissa 10.1 solmua (3 kpl). Keskimääräinen peräsinkulma samassa leikkauksessa eli jo käännöksen alussa oli onnistuneissa ajoissa 28 astetta ja pohjakosketukseen päättäneissä ajoissa 35 astetta. Sekä käytetty tilannenopeus, joka on selvästi suurempi kuin mikä olisi risteilijälaituria ohitettaessa suotavaa, että käytetyt suuret peräsinkulmat osoittavat tutkitun väyläversion hankaluutta. Tähän viittaa myös pohjakosketusten määrä - neljä neljästätoista ajosta.

7

Yhteenvedo mallikokeen ja simulaattoritutkimuksen tuloksista

Tässä simulaattoritutkimuksessa ja mallikoesarjassa on selvitetty sekä Kustaanmiekkan että Särkäsalmen väylien liikennöimiseen vaikeissa ulkoisissa olosuhteissa liittyviä ongelmia. Lisäksi on tutkittu Kustaanmiekkan väylässä saavutettavia parannuksia, kun lisätään merkintää tai väylää ruopataan. Erityisesti tarkasteltiin väylien geometriasta ja pohjan muodosta aiheutuvia hankaluuksia suurten alusten kannalta.

Mallikoe

Kustaanmiekka nykyisellään on tutkituille laivoille väylä, jossa marginaalit etenkin huonoissa sääolosuhteissa ovat pienet. Mallikokeiden perusteella voidaan todeta miniminopeuden väylässä olevan yli 10 solmua, kun tuulen nopeus on suuruusluokkaa 20 m/s. Suurilla nopeuksilla (12 - 14 solmua) on väylän reunavaikutukset ennakoitava tarkasti eli aikamarginaalit ovat pienet.

Edellä todettiin että suureet, jotka vaikuttavat imuvaikutusten voimakkuuteen, ovat laivan nopeus, etäisyys reunasta ja veden syvyys. Laivan nopeuden kasvaessa reunavaikutus kasvaa jopa enemmän kuin suhteessa nopeuden neliöön, etäisyys reunasta puolestaan kaksinkertaistaa momentin reunamarginaalin pienentyessä laivan leveydestä puoleen. Väylän syvyyden vaikutus ei ole niin selvä, sillä väylän madaltuessa reunavaikutukset kasvavat mutta myös laivan hitaus kasvaa, mikä vaimentaa imuvaikutusten ilmenemistä. Tämä näkyy Kustaanmiekkan väylän ruopatun ja täytetyn version mallikoetuloksissa, joissa erot reunamarginaaleissa, ajokaistan leveydessä tai pohjakosketusten lukumäärässä eri väyläversioiden ja alusten välillä eivät ole yksikäsitteisiä tai merkittäviä. Ruoppauksen vuoksi muuttuvat veden syvyyden ja alusten syväyksien suhteet (H/T) lautalla $1.62 \rightarrow 1.91$ ja RoRolla sekä Bulk-aluksella $1.22 \rightarrow 1.44$ Vallisaaren kohdalla. Syväyssuhteen muutos on merkittäväällä alueella aluksen ohjailuominaisuuksien kannalta vain jälkimmäisessä tapauksessa. Mallikoetuloksissa korreloivat ulkoiset olosuhteet paremmin kuin väyläversiot tai alustyyppit.

Koska edellä on selvästi tullut esille väylän reunamarginaalien merkitys, ei ole yllättävää että mallikokeissa Särkkä-vaihtoehto oli leveytensä vuoksi hyvä verrattuna Kustaanmiekkan vaihtoehtoihin esimerkiksi pohjakosketusten lukumäärän tai käytetyn ajokaistan leveyden suhteen.

Väylän leventämisen vaikutus oli havaittavissa myös Kustaanmiekkan levennetyllä versiolla tehdyissä rajoitetuissa kokeissa. Tämä viittaa siihen, että jos halutaan oleellisesti parantaa Kustaanmiekkan väylää kasvattamalla aluksen käsittelyn marginaaleja kaikissa vaikeissa olosuhteissa on tehokas muutos väylän leventäminen.

Edellä esitettyjen tulosten valossa ei tutkituista eri väylävaihtoehdoista mikään osoittautunut muita selvästi paremmaksi. Tuloksista saatiin esiin sekä Kustaanmiekkan että Särkän väyliä käytettäessä, esiintyviä ongelmia.

Simulaattoritutkimus

Koska laivojen väyläajon tutkimiseen mallikokein aina liittyy aika-kaalan nopeutuminen ja ohjaamisen suorittaminen enemmän tai vähemmän epätodellisesta lintuperspektiivistä täydennettiin hydraulisella mallilla tehtyjä kokeita VTT:n laivatekniikan laboratorion aluksen käsittelysimulaattorilla Otaniemessä. Aluksen käsittelysimulaattorissa laivan ohjaaminen tapahtuu reaaliajassa oikeasta perspektiivistä komentosillalta.

Tämän simulaattoritutkimuksen tavoitteina oli hydraulisen mallikokeen tulosten tarkentaminen ja täydentäminen. Simulaattoriajojen tuloksia verrattiin mallikokeeseen reunamarginaalien, ajokaistan leveyden sekä pohjakosketuksien määrän osalta. Särkän väylän ajot toteutettiin olosuhteissa, jotka ovat lähempänä todellista käytäntöä. Särkän väylän mallikokeissa ei koeteknisistä syistä mallin nopeuden hidastettu eikä väylä sisältänyt käännöksiä tultaessa Särkänsalmeen tai lähdetäessä sivuuttamaan Katajanokkaa. Simulaattoriajoilla pyrittiin siis selvittämään onko Särkän salmen väylä todellinen vaihtoehto Kustaanmiekalle.

Täydentävinä olivat mukana myös ajosuunta ulos satamasta ja tarkastelu aluskoon vaikutuksesta käyttämällä nykyisten alusten kokoista vertailulaivaa. Lisäksi liitettiin simulaattoriajoihin tarkastelu Kustaanmiekkan

merkinnän parantamismahdollisuuksista. Linjamerkintää lisäämällä pyrittiin parantamaan paikannustarkkuutta väylän keskilinjalle, koska nimenomaan paikannustarkkuuden merkitys oli mallikokeessa todettu huomattavaksi.

Simulaattoriajoista saatiin samantyyppinen tulos kuin mallikokeestakin väylän reunojen imuvaikutuksista ja niiden nopeusriippuvuudesta. Nämä vaikutukset merkitsevät sitä, että suurille aluksille on salmen läpiajossa olemassa rajanopeus. Tämä nopeusraja on sekä mallikokeen että simulaattoriajojen mukaan 14 - 15 solmun paikkeilla.

Tuulella havaittiin olevan ajotehtävää hankaloittava vaikutus alkaen tuulen nopeudesta noin 15 m/s. Varsinaista tuulirajaa ei tuloksista kuitenkaan löydy, koska esimerkiksi uuden sukupolven autolautan ajoissa todettiin oppimisprosessilla, eli koulutuksella, olevan merkitystä. Suurilla nopeuksilla tarvitaan laivan poikittainen paikannustarkkuus, jonka on oltava luokkaa ± 15 metriä, eli yksi alusleveys.

Vaikka molempien koetyyppien mukaan suuri yksipotkurinen roro oli hieman vaikeampi hallita kuin muut alustyytit ei laivatyyppillä simulaattoriajoissa kuten ei myöskään mallikokeessa voitu todeta olevan merkittävää vaikutusta tuloksiin.

Ajot ulospäin osoittautuivat hankalammiksi kuin tulo satamaan päin. Tämä johtunee Kruunuvuoren selän jälkeen olevasta suuresta mutkasta ja sen jälkeisestä hyvin lyhyestä suorasta ennen Kustaanmiekan salmea. Toisaalta ulospäin ajettaessa on alue ennen salmea suojaisa ja tuuliolosuhteet helpommat kuin ulkona.

Simulaattoriajoissa paikannustarkkuutta lähestymislinjalla parannettiin lisäämällä visuaalista informaatiota linjatauluilla. Tämä paikannustarkkuuden lisääminen ilmeni koetuloksissa rauhoittuneena lähestymisajona ja vähentyneenä pohjakosketusten määränä.

Ohjaajille tehdyn henkilökohtaisen mielipidetiedustelun mukaan Kustaanmiekan väylää pidetään keskimääräistä vaikeampana isoille aluksille. Lisämerkinnän todettiin olevan hyvä ratkaisu.

Särkän kautta kulkeva väylä ei tutkitussa muodossa ole todellinen vaihtoehto Kustaanmiekalle, koska Katajanokan ohittaminen osoittautui tuulessa vaikeaksi tarpeellisen hiljaisella, ympäristön vaatimalla nopeudella.

Näkökohtia liikennöintiolosuhteiden parantamiseksi

Kustaanmiekka osoittautui kapeana väylänä tutkituille suurille aluksille hankalaksi kovassa tuulessa. Mikäli Kustaanmiekan miljööseen sopiva leventäminen ei ole mahdollista, olisi kehitettävä paikannustarkkuutta väylässä. Laivojen paikannusjärjestelmän Kustaanmiekassa tulisi olla sellainen, että aluksen hetkellinen sijainti ja asento väylässä sekä liiketila olisivat mahdollisimman selkeässä muodossa ohjaajan käytettävissä. NykYTEkniikalla myös elektroniset paikannusjärjestelmät voisivat olla vaihtoehto tavanomaiselle visuaaliselle linjamerkinnälle eli linja voitaisiin toteuttaa sähköisenä.

Uusien juuri liikenteeseen otettujen alusten päällystön koulutusta voitaisiin kehittää järjestämällä simulaattorikoulutusta (ajoharjoittelua) k.o. aluksella tai vastaavalla alustyypillä. Myös luotseja tulisi kouluttaa parhaiden mahdollisten ohjausstrategioiden käyttöönottamiseksi.

Liikenteenohjauksen käyttöönotolla Kustaanmiekassa voitaisiin estää hankalat ja häiritsevät kohtaamistilanteet salmen lähestymisajossa.

8. Lähdeluettelo

- Heikkilä, M. Simulaattori Laiva- ja Väylätekniisten Ongelmien Ratkaisuisa, Ohjailu ja Navigointi INSKO:n kurssi 1-87 VIII, Helsinki 1987
- Heino, R. ja Hellsten, E. Tilastoja Suomen Ilmastosta 1961-1980. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan Nide 80 Osa 1a -1980, Ilmatieteen laitos, Helsinki 1983
- Performance Tests Silja Line Ferry, Marintek Report 88 - 0171, Trondheim 1988
- Seakeeping Tests Silja Line Ferry, Marintek Report 88 - 0306, Trondheim 1988
- Wind Force Measurements for RORO Vessels 270 and 271, VTT/LAI Report LAI-121/82, Espoo 1982
- Wind Force Measurements for the Passenger Ferry L-1301, VTT/LAI Report LAI-8207B/88, Espoo 1988

FINNSIM - Aluksen käsittelysimulaattorin ominaisuudet**YLEISTÄ****Sijainti:**

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)
Laivatekniikan laboratorio (VTT/LAI)
Tietotie 1 02150 ESPOO

Omistajat ja käyttäjät:

Ammattikasvatushallitus (AKH),
Merenkulkuhallitus (MKH) ja VTT/LAI

Valmistaja:

Marconi Command and Control Systems Ltd
ja Racal SMS Ltd

Käyttö:

Koulutus ja tutkimus

Käyttöönotto pvm:

Tammikuu 1986

MAISEMAN NÄYTTÖJÄRJESTELMÄ**Valmistaja:**

Marconi Command and Control Systems Ltd

Periaate:

Täysin (synteettinen) tietokonepohjainen

Näyttö:

Värinäyttö, päivä/hämärä/yö, 6
kanavainen projektointi

Näkymäkulma:

240 astetta vaakatasossa x 30 astetta (+9/-21)
pystytasossa

Harjoitusalueen koko:

128 x 128 merimailia

Erotuskyky:

4 kulmaminuuttia

Erityisefektit:

Dia oman aluksen keulakannesta,
oman/muiden alusten keulavaahto,
näkyvyys vapaasti valittavissa.

TIETOKONEET**Aluksen simulointi:**

PDP 11/73 (oman aluksen matemaattinen
malli) ja Racal DS500

Maiseman näyttö:

PDP 11/24, PDP 11/44 ja Marconi

OMAN ALUKSEN MATEMAATTINEN MALLI**Laivan dynamiikka:**

Kolmen vapausasteen malli, jossa mukana
matalan veden, vaihtuvasuuntaisen ja -
nopeuksisen virran, puuskittaisen tuulen
sekä aallokon vaikutus

Potkurivaikutukset:	Kierrosluvun, laivan nopeuden ja pääkoneen ominaisuuksien vaikutukset. Kiinteä- ja säätölapaiset potkurit, pääkone tyyppeinä keskinopea/ hidas dieselmottori sekä höyryturbiini. Poikittaistyöntölaitteet.
Kanavavaikutukset:	Vedenalainen tai -päällinen pengeri joko vain toisella tai molemmilla puolin laivaa.
Muu liikenne:	Vastaantulevien ja ohitettavien alusten vuorovaikutukset.
Hinaajat:	Kuusi hinaajaa, joiden veto/työntövoima, sen suunta ja vaikutuspiste operaattorin valittavissa.
Ankkurointi:	Kaksi ankkuria ja SPM-kiinnityminen.
Vikatilanteet:	Ohjaus ja propulsio sekä navigointilaitteet.

KOMENTOSILLAN LAITTEET

Komentosillan koko:	5 metriä (leveys) x 5.5 metriä.
Tutkat:	Kaksi Racal ARPA tutkaa.
Navigointilaitteet:	Decca, Omega, Loran, Sateliittinavigaattori, magneettiloki, dopplerloki, kello, kaikuluoti ja sen piirturi, tuulimittari, hyrrä- sekä magneetti- kompassi.
Muut laitteet:	Racal adaptiivinen autopilotti, koneiston ohjaus, poikittaistyöntölaitteiden ohjaus, kierrosluku-, potkurin säätökulma-, peräsinkulma- ja kulmanopeus mittarit, monikanavainen VHF, sisäpuhelin, merenkulku- ja signaalivalojen ohjaus, käsi ja automaattinen äänimerkki sekä hälytyspaneeli.
Muita vaikutuksia:	Komentosillan värähtely potkurin kierrosluvun funktiona ja pääkoneen ääniefektit.

TUTKASIMULAATTORI

Valmistaja:	Racal SMS Ltd
Tutkasignaali:	Digitaalinen rantaviivan generointi.
Harjoitusalueen koko:	128 x 128 merimailia.
Erotuskyky:	8 metrillä 32 merimailiin, suuntima 0.35 astetta
Tarkkuus:	Parempi kuin 10 metriä.

Erikoisvaikutukset: Aaltovälke sekä liikkuvat sadepilvet.

SIMULAATTORIN OHJAUS JA HALLINTA

Ohjaus ja tarkkaamo: Harjoituksen ohjaaminen grafiikkamonitorien avulla, kopionäyttö komentosillan maisemasta värimonitorien avulla sekä ihmisen käyttäytyminen sisäisen televisioverkon kautta.

Jälkikäsitteily: Mahdollisuus toistaa ajettu harjoitus, x-y-plottaus, analogiaplottaus ja alfanumeerinen listaus halutuista muuttujista, erillinen laivan simulointijärjestelmä (PDP 11/73 + Racalin prosessori) käytettävissä simulointiin ilman komentosiltaa, tutkaa tai maisemaa.

LAIVAMALLIT

Oman aluksen mallit

Laivatyyppi	Uppouma	Lastitilanne	Pääkonetyyppi	Potkurityyppi
1. Tankkeri	220 000 t	täysi/puoli/ painolasti	höyryturbiini hidask. diesel	kiinteälapainen kiinteälapainen
2. Tankkeri	30 000 t	täysi/ painolasti	hidask. diesel keskin. diesel	kiinteälapainen säästösiipi
3. Lautta	15 030 t	täysilasti	keskin. diesel	säästösiipi
4. Yleisrahtil.	7 450 t	täysilasti	keskin. diesel keskin. diesel	säästösiipi kiinteälapainen
5. Yleisrahtil.	17 920 t	täysilasti	hidask. diesel	kiinteälapainen
6. Konttialus	58 830 t	täysilasti	höyryturbiini	kiinteälapainen
7. Konttialus	40 400 t	täysilasti	hidask. diesel	kiinteälapainen
8. LNG	93 400 t	täysilasti	höyryturbiini	kiinteälapainen

Muiden alusten mallit

Laivatyyppi	Uppouma	Lastitilanne
<hr/>		
1.Kosteri	700 t	täysilasti
2.Lautta	5 000 t	täysilasti
3.Yleisrahtil.	13 000 t	täysilasti
4.Nopea rahtil.	20 000 t	täysilasti
5.Konttialus	28 000 t	täysilasti
6.Tankkeri	98 000 t	täysilasti
7. LNG	95 000 t	täysilasti
8.VLCC	220 000 t	täysilasti
<hr/>		